



TUGAS AKHIR - RE 184804

**STUDI KEMAMPUAN INSTALASI PENGOLAHAN
AIR UNTUK MEMINIMALISASI TRIHALOMETANA
(STUDI KASUS IPA SIWALANPANJI KABUPATEN
SIDOARJO)**

Bernadet
03211640000045

Dosen Pembimbing
Alfan Purnomo, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020



TUGAS AKHIR - RE 184804

**STUDI KEMAMPUAN INSTALASI PENGOLAHAN
AIR UNTUK MEMINIMALISASI TRIHALOMETANA
(STUDI KASUS IPA SIWALANPANJI
KABUPATEN SIDOARJO)**

Bernadet
03211640000045

Dosen Pembimbing
Alfan Purnomo, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020



FINAL PROJECT - RE 184804

**STUDY OF THE CAPABILITY OF WATER
TREATMENT FOR MINIMIZATION OF
TRICHALOMETHANE (CASE STUDY IN
SIWALANPANJI WATER TREATMENT
SIDOARJO DISTRICT)**

Bernadet
03211640000045

Supervisor
Alfan Purnomo, S.T., M.T.

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI KEMAMPUAN INSTALASI PENGOLAHAN AIR UNTUK MEMINIMALISASI TRIHALOMETANA (STUDI KASUS IPA SIWALANPANJI KABUPATEN SIDOARJO)

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

BERNADET

NRP : 03211640000045

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir



Alfian Purnomo, S.T., M.T.
NIP 19830304 200604 1 002

SURABAYA
AGUSTUS 2020



STUDI KEMAMPUAN INSTALASI PENGOLAHAN AIR UNTUK MEMINIMALISASI TRIHALOMETANA (STUDI KASUS IPA SIWALANPANJI KABUPATEN SIDOARJO)

Nama Mahasiswa : Bernadet
NRP : 0321640000045
Departemen : Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing : Alfian Purnomo, S.T., M.T.

ABSTRAK

Tahap dalam pengolahan air yang berfungsi untuk menghilangkan patogen sebelum didistribusikan adalah desinfeksi. Desinfektan yang paling umum digunakan adalah senyawa klor. Secara alami, air baku mengandung *natural organic matter* (NOM). Reaksi pencampuran bahan organik dengan senyawa klor melalui klorinasi dapat menghasilkan *chlorination by-products* (CBP) seperti *trihalomethanes* (THM) yang memberikan dampak buruk kepada kesehatan. Sumber utama paparan CBP kepada populasi adalah air keran, melalui konsumsi, inhalasi, dan penyerapan oleh kulit. Baku mutunya memiliki batas maksimum 0,8 µg/L untuk *total trihalomethane* (TTHM). Air baku yang digunakan di IPA Siwalanpanji memiliki konsentrasi COD 21 - 46 mg/L. Penelitian ini memprediksi konsentrasi TTHM dengan rumus empiris dan membandingkan kemampuan kedua jenis instalasi di lokasi yaitu konvensional dan ultrafiltrasi.

Penelitian dilakukan dengan pengambilan data dan pengujian di laboratorium. Data sekunder yang dibutuhkan adalah sistem pengolahan air di lokasi, kandungan organik air baku, dosis yang digunakan dalam proses klorinasi, debit, dan waktu detensi setiap unit. Sedangkan, data primer didapat dari pengambilan sampel di 5 titik pada lokasi penelitian yaitu IPA Siwalanpanji. Sampel yang diambil dianalisis untuk 6 jenis parameter yakni pH, suhu, dosis klor, COD, UV₂₅₄, dan waktu kontak. Konsentrasi

TTHM diprediksi dengan 7 rumus empiris dari penelitian-penelitian terdahulu. Kemudian, dilakukan pemilihan rumus yang paling sesuai oleh metode ranking yang berdasarkan beberapa faktor pembandingan. Lalu, kemampuan jenis instalasi dihitung dari hasil prediksi konsentrasi TTHM dan rumus *removal*.

Hasil penelitian menunjukkan hasil prediksi konsentrasi TTHM yang cukup bervariasi karena beberapa faktor yang membedakan. Berdasarkan hasil dari metode ranking, rumus yang memiliki hubungan dan kesesuaian terbesar terhadap kondisi penelitian ini adalah rumus 7. Rumus 7 ini memiliki nilai kesesuaian 0,8644 (paling mendekati 1). Kemudian, hasil perhitungan kemampuan jenis instalasi menunjukkan dari sebagian besar data bahwa pengolahan konvensional (rata-rata 23,8428%) memiliki kemampuan yang lebih baik dari pengolahan ultrafiltrasi (rata-rata 16,6630%) dalam meminimalisasi konsentrasi TTHM.

Kata kunci: klorinasi, *natural organic matter* (NOM), pengolahan konvensional, total trihalometana (TTHM), ultrafiltrasi (UF)

STUDY OF THE CAPABILITY OF WATER TREATMENT FOR MINIMIZATION OF TRIHALOMETHANE (CASE STUDY IN SIWALANPANJI WATER TREATMENT SIDOARJO DISTRICT)

Name of Student : Bernadet
NRP : 0321640000045
Study Programme : Environmental Engineering
Supervisor : Alfian Purnomo, S.T., M.T.

ABSTRACT

The stage in water treatment to remove pathogens before they are distributed is disinfection. The most commonly used disinfectants are chlorine compound. Naturally, raw water contains natural organic matter (NOM). The reaction of mixing organic matter with chlorinated compounds through chlorination can produce chlorination by-products (CBP) such as trihalomethanes (THM) that give negative impacts on health. The main source of CBP exposure to the population is tap water, through consumption, inhalation, and absorption by the skin. The quality standard has a maximum limit of 0.8 µg / L for total trihalomethane (TTHM). The raw water used in the Siwalanpanji WTP has a concentration of COD around 21 - 46 mg / L. The amount of organic matter contained is one of a factor that form CBP. This research predicted the concentration of TTHM with an empirical formula and compare the capabilities of the two types of installation, which are conventional and ultrafiltration.

The study was conducted by taking data and testing in the laboratory. Secondary data needed are the water treatment system, the organic content of raw water, the dose used in the chlorination process, the flow rate, and the detention time of each unit. Meanwhile, primary data were obtained from sampling at 5 points at the study site, Siwalanpanji WTP. Samples taken were analyzed for 6 types of parameters, which are pH, temperature, chlorine dose, COD, UV254, and contact time. The TTHM

concentration was predicted by 7 empirical formulas from previous studies. Then, selecting the most related formula by the ranking method that are based on several comparison factors. Also, the capability of the type of installation is calculated from the predicted results of the TTHM concentration and the removal formula. The results showed that the prediction of TTHM concentrations was quite varied due to several distinguishing factors. Based on the results of the ranking method, the formula that has the greatest correlation and suitability of the conditions of this study is Formula 7. This formula has a suitability value of 0.8644 (closest to 1). The results of most of the installation capability calculation show that conventional treatment (average of 23,8428%) has a better capability than ultrafiltration treatment (average of 16,6630%) in minimization of TTHM concentration.

Keyword(s): chlorination, conventional treatment, natural organic matter (NOM), total trihalomethanes (TTHM), ultrafiltration (UF)

KATA PENGANTAR

Puji syukur Saya panjatkan ke hadirat Allah Yang Mahakuasa atas limpahan rahmat, berkah, dan hidayah-Nya Laporan Tugas Akhir dengan judul **“Studi Kemampuan Instalasi Pengolahan Air untuk Meminimalisasi Trihalometana (Studi Kasus IPA Siwalanpanji Kabupaten Sidoarjo)”** dapat Saya selesaikan. Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi persyaratan mendapatkan gelar Sarjana Teknik di Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Dalam penyusunan laporan ini, Saya ingin menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Alfian Purnomo, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing mata kuliah Tugas Akhir yang telah banyak membantu dan membimbing selama proses pengerjaan Laporan Tugas Akhir.
2. Bapak Dr. Abdu Fadli Assomadi, S.Si, M.T., Ibu Bieby Vojiant Tangahu S.T., M.T., Ph.D., dan Ibu Harmin Sulistyaning Titah S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pengarah pada seminar proposal.
3. Bapak Dr. Ali Masduqi S.T., M.T. dan Bapak Ir. Eddy Setiadi Soedjono Dipl.SE, M.Sc., Ph.D. selaku dosen pengarah seminar kemajuan.
4. Bapak Dr. Ali Masduqi S.T., M.T., Bapak Ir. Eddy Setiadi Soedjono Dipl.SE, M.Sc., Ph.D. dan Ibu Susi Agustina Wilujeng S.T., M.T. selaku dosen pengarah sidang akhir.
5. Ibu Harmin Sulistyaning Titah S.T., M.T., Ph.D. selaku koordinator tugas akhir.
6. PDAM Delta Tirta Sidoarjo yang telah terbuka memberikan kesempatan untuk melakukan penelitian di IPA Siwalanpanji.

7. Badan Kesatuan Bangsa dan Politik Provinsi Jawa Timur dan Badan Kesatuan Bangsa dan Politik Kabupaten Sidoarjo yang telah memberikan perijinan untuk melakukan penelitian tugas akhir di Sidoarjo.
8. Orang tua untuk segala doa dan dukungan yang telah diberikan,
9. Teman-teman angkatan 2016 yang telah memberikan dukungan dan semangat.
10. Seluruh pihak yang secara langsung maupun tidak langsung memberikan bantuan kepada Saya.

Dalam penulisan tugas akhir ini telah diusahakan semaksimal dan sebaik mungkin, namun tentunya masih terdapat keterbatasan dan kekurangan, sehingga penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun guna memperbaiki di kemudian hari.

Surabaya, Agustus 2020

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Ruang Lingkup	3
1.5 Manfaat.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Delta Tirta Kabupaten Sidoarjo.....	5
2.2 Gambaran Umum Instalasi Pengolahan Air (IPA) Siwalanpanji PDAM Delta Tirta	5
2.3 Karakteristik Air Baku	10
2.3.1 Karakteristik Fisik	10
2.3.2 Karakteristik Kimia.....	11
2.3.3 Karakteristik Biologi.....	11
2.4 Unit Pengolahan Air Baku	12
2.4.1 Intake	12
2.4.2 Prasedimentasi	12
2.4.3 Koagulasi	12
2.4.4 Flokulasi.....	13
2.4.5 Sedimentasi	13
2.4.6 Filtrasi	13
2.4.7 Desinfeksi	14
2.4.8 Reservoir	15
2.5 Klorinasi.....	15
2.5.1 Jenis Klorinasi	15
2.5.2 Metode Pembubuhan	17
2.5.3 Mekanisme Klorinasi	18
2.5.4 Produk Sampingan Klorinasi	19
2.6 THM.....	20

2.6.1 Faktor Pembentukan THM	21
2.6.2 Parameter Pengukuran THM.....	21
2.6.3 Efek THM	23
2.7 Persyaratan Kualitas Air Minum	25
BAB III METODE PENELITIAN	29
3.1 Umum	29
3.2 Kerangka Penelitian	29
3.2.1 Judul Tugas Akhir	33
3.2.2 Rumusan Masalah dan Tujuan.....	33
3.2.3 Perijinan	33
3.2.4 Tinjauan Pustaka	34
3.2.5 Pengumpulan Data	34
3.2.6 Analisis (Pengolahan Data) dan Pembahasan.....	37
3.2.7 Kesimpulan dan Saran	39
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	41
4.1 Kualitas Air Baku Instalasi Pengolahan Air (IPA) Slwalanpanji	41
4.2 Pengukuran Parameter	41
4.3 Prediksi Konsentrasi Total Trihalometana (TTHM) dengan 7 Rumus Empiris	46
4.4 Perbandingan Kemampuan 2 Instalasi di IPA Siwalanpanji dalam Meminimalisasi Kandungan TTHM ...	59
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	65
5.1 Kesimpulan.....	65
5.2 Saran	65
DAFTAR PUSTAKA	67
LAMPIRAN A	75
I. Cara pengambilan sampel	75
II. Pengawetan sampel.....	75
III. Prosedur Uji Sampel.....	75
LAMPIRAN B	77
LAMPIRAN C	79
I. Absorbansi COD di Setiap Sampel	79
II. Nilai Absorbansi untuk Setiap Konsentrasi Larutan Standar	79
III. Hubungan Nilai Absorbansi dan Konsentrasi COD.....	79
IV. Contoh Perhitungan Konsentrasi COD	80
V. Hasil Perhitungan Konsentrasi COD Setiap Titik Sampel.	80
BIOGRAFI PENULIS.....	81

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1	Rumus Empiris Prediksi Total Trihalometana (TTHM).....	22
Tabel 2. 2	Parameter Wajib Baku Mutu Air Minum.....	26
Tabel 2. 3	Parameter Tambahan Kimia Bahan Organik Baku Mutu Air Minum	27
Tabel 3. 1	Rumus-Rumus Empiris untuk Menghitung Konsentrasi TTHM.....	37
Tabel 4. 1	Debit Air dan Penggunaan Klor di IPA Siwalanpanji 9 Maret 2020 – 12 Maret 2020.....	42
Tabel 4. 2	Dosis Klor yang Digunakan di IPA Siwalanpanji 9 Maret 2020 – 12 Maret 2020	43
Tabel 4. 3	Konsentrasi TOC Setiap Sampel	44
Tabel 4. 4	Nilai UV ₂₅₄ Setiap Sampel.....	45
Tabel 4. 5	Nilai pH Setiap Sampel	45
Tabel 4. 6	Suhu Setiap Sampel	45
Tabel 4. 7	Konsentrasi TTHM dengan Rumus 1.....	49
Tabel 4. 8	Konsentrasi TTHM dengan Rumus 2.....	49
Tabel 4. 9	Konsentrasi TTHM dengan Rumus 3.....	49
Tabel 4. 10	Konsentrasi TTHM dengan Rumus 4.....	51
Tabel 4. 11	Konsentrasi TTHM dengan Rumus 5.....	53
Tabel 4. 12	Konsentrasi TTHM dengan Rumus 6.....	54
Tabel 4. 13	Konsentrasi TTHM dengan Rumus 7.....	55
Tabel 4. 14	Hasil Perhitungan Bobot setiap Faktor	57
Tabel 4. 15	Penilaian Kesesuaian Kelima Faktor Setiap Rumus	58
Tabel 4. 16	Nilai dan Ranking Kesesuaian Setiap Rumus	59
Tabel 4. 17	Persen Kemampuan Kedua Jenis Instalasi IPA Siwalanpanji dalam Meminimalisasi TTHM (Rumus 7).....	61
Tabel 4. 18	Persen Kemampuan Kedua Jenis Instalasi IPA Siwalanpanji dalam Meminimalisasi COD	62

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Diagram Alir IPA Siwalanpanji.....	6
Gambar 2. 2	Intake IPA Siwalanpanji.....	7
Gambar 2. 3	Sumur Pengumpul IPA Siwalanpanji.....	7
Gambar 2. 4	Prasedimentasi IPA Siwalanpanji.....	8
Gambar 2. 5	Pengolahan Konvensional: 50 L/det (kiri) dan 25x2 L/det (kanan) IPA Siwalanpanji.....	8
Gambar 2. 6	Bak Pengumpul IPA Siwalanpanji.....	8
Gambar 2. 7	Unit Ultrafiltration.....	9
Gambar 2. 8	Pengolahan Konvensional 5 L/det.....	9
Gambar 2. 9	Pengolahan Konvensional: 50 L/det (kiri) dan 10 L/det (kanan) IPA Siwalanpanji.....	9
Gambar 2. 10	Reservoir IPA Siwalanpanji.....	9
Gambar 2. 11	Breakpoint Chlorination.....	17
Gambar 3. 1	Diagram Alir Kerangka Penelitian Tugas Akhir.....	32
Gambar 3. 2	Kedua Jenis Instalasi yang Diteliti.....	35
Gambar 3. 3	Titik Pengambilan Sampel.....	36

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam pengolahan air minum, desinfeksi dilakukan untuk menghilangkan bahaya mikroorganisme yang terkandung di air baku terhadap pemakai air. Klorin relatif murah, tersedia secara bebas dan dapat diangkut dan disimpan dengan relatif mudah. Selain itu, ia memiliki aktivitas spektrum luas terhadap sebagian besar patogen yang terbawa air (virus, bakteri, dan protozoa) (Rajamohan *et al.*, 2012). Sehingga, pada pengolahan air minum, senyawa klor merupakan desinfektan yang paling umum (Masduqi dan Assomadi, 2016).

Pada saat yang sama, klorinasi mengandung risiko pembentukan produk samping klorinasi atau *chlorination by-products* (CBP) seperti trihalomethanes (THM), yang dibentuk oleh reaksi klorin dengan senyawa organik yang ada secara alami di air (Gallard dan Gunten 2002). Sumber terbesar paparan manusia terhadap THM di Amerika adalah dari konsumsi air minum terklorinasi. Bukti efek keseluruhan THM diduga menyerupai kloroform pada manusia yang telah diperoleh selama penggunaannya di masa lalu sebagai anestesi inhalasi. Selain efek sistem saraf pusat, anestesi kloroform dikaitkan dengan aritmia jantung dan kelainan pada hati dan ginjal, serta dalam jangka panjang berpotensi menyebabkan kanker (NHDES, 2006).

Pembentukan THMs selama klorinasi air minum perlu dipantau untuk memastikan sesuai dengan baku mutu yang ada (Babaei, 2015). Pada Peraturan Menteri Kesehatan No. 492 Tahun 2010 terdapat baku mutu untuk trihalometana yang terdiri dari 4 jenis yaitu *bromoform*, *dibromochloromethane* (DBCM), *bromodichloromethane* (BDCM), dan *chloroform*. Laju dan derajat pembentukan THM adalah fungsi dari banyak parameter seperti dosis klorin dan residu, dan karbon organik (Sketchell *et al.*, 1995). Total dari seluruh jenis THM disebut sebagai total trihalometana

(TTHM). Berdasarkan United States Environmental Protection Agency (USEPA) baku mutu untuk TTHM adalah 80 µg/L.

Sumber utama paparan CBP kepada populasi adalah air keran, melalui konsumsi, inhalasi, dan penyerapan oleh kulit (Villanueva *et al.*, 2006). Inhalasi dan penyerapan oleh kulit bertanggung jawab atas paparan terbesar pada kebanyakan paparan CBP, terutama trihalomethanes (THMs), paparan yang terutama terjadi selama mandi (Xu dan Weisel, 2005). Sebagian besar kloroform di udara dalam ruangan hadir sebagai akibat dari volatilisasi dari air minum. Sebuah studi pemodelan (Krishnan, 2003) menemukan nilai paparan kloroform tertinggi di antara orang dewasa yang mandi 30 menit setiap hari. Paparan kloroform di udara dalam ruangan sangat berpengaruh di negara-negara dengan rumah-rumah yang memiliki tingkat ventilasi yang rendah dan seringnya frekuensi untuk mandi. IPA Siwalanpanji merupakan salah satu IPA yang menggunakan klor untuk desinfeksi. Instalasi juga berada di lokasi yang tingkat frekuensi mandi yang cukup tinggi akibat iklim di Indonesia dengan suhu udara yang tinggi (Wirjohamidjojo dan Swarinoto, 2010). Menurut Culp dan Wesner (1986), suhu yang tinggi juga meningkatkan laju pembentukan THM.

Instalasi Pengolahan Air (IPA) Siwalanpanji merupakan salah satu instalasi pengolahan air minum milik Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Delta Tirta di Kabupaten Sidoarjo. Sumber air baku IPA Siwalanpanji berasal dari Afvoer Buduran dengan konsentrasi COD 21-46 mg/L. Kemudian, pengujian yang dilakukan secara rutin di IPA Siwalanpanji yang berkaitan dengan klorinasi adalah pengujian sisa klor. Sehingga, pengujian tidak memfokuskan kepada produk sampingan yang berpotensi terbentuk. Oleh karena itu, penelitian ini ingin memfokuskan potensi pembentukan THM yang dapat memberikan dampak buruk kepada pemakainya.

Pada penelitian-penelitian sebelumnya telah didapat rumus-rumus pendekatan konsentrasi TTHM. Konsentrasi TTHM didapat dari faktor-faktor yang mempengaruhi pembentukan THM seperti pH, suhu, kandungan organik, dosis klor yang digunakan, dan

waktu kontak dengan senyawa klor (Cristo *et al.*, 2013). Sehingga, dari faktor pembentuk tersebut dapat diprediksi konsentrasi TTHM.

IPA Siwalanpanji memiliki 6 instalasi pengolahan air yang terdiri dari 2 jenis pengolahan yaitu instalasi konvensional dan instalasi dengan *ultrafiltration* (UF). Terdapat 5 instalasi konvensional dan 1 instalasi dengan UF. Oleh karena itu, kandungan TTHM yang keluar dari outlet masing-masing instalasi akan terolah secara berbeda. Kedua jenis instalasi ini dapat dibandingkan dalam kemampuannya untuk reduksi kandungan TTHM. Sehingga, dapat diketahui unit yang lebih baik dalam reduksi TTHM.

1.2 Perumusan Masalah

Berikut adalah rumusan permasalahan yang diangkat di dalam tugas akhir ini :

1. Rumus prediksi konsentrasi TTHM mana yang paling sesuai dari 7 rumus empiris?
2. Bagaimana perbandingan kemampuan instalasi konvensional dan ultrafiltrasi di IPA Siwalanpanji dalam meminimalisasi kandungan TTHM?

1.3 Tujuan

Adapun tujuan yang ingin dihasilkan dari pelaksanaan tugas akhir ini yaitu,

1. Menentukan rumus prediksi konsentrasi TTHM yang paling sesuai dari 7 rumus empiris.
2. Melakukan perbandingan kemampuan instalasi konvensional dan ultrafiltrasi di IPA Siwalanpanji dalam meminimalisasi kandungan TTHM.

1.4 Ruang Lingkup

Ruang lingkup perencanaan meliputi,

1. Lokasi Studi adalah IPA Siwalanpanji PDAM Delta Tirta Kabupaten Sidoarjo
2. Parameter yang diukur adalah pH, suhu, dosis klor yang digunakan, waktu kontak klor, COD, dan UV-Vis.
3. Variabel penelitian yang digunakan adalah perbandingan 7 rumus empiris. Juga, perbedaan unit

pengolahan yang digunakan yaitu unit konvensional dan unit *ultrafiltration* (UF).

4. Sampel akan diambil 4 hari berturut-turut pada titik yang sama.
5. Sampel akan diambil di 5 titik untuk setiap hari sampling yaitu di air baku, sumur pengumpul, bak pengumpul, outlet unit UF, dan outlet unit konvensional.
6. Waktu pengambilan sampel dilakukan pada jam 11.00-14.00.
7. Alat penelitian dari Laboratorium Teknologi Pengolahan Air, Departemen Teknik Lingkungan ITS yaitu tabung COD, filter dan *vacuum pump*, *digester* dan spektrofotometer untuk uji COD. Juga, pH meter untuk pH, thermometer untuk pengukuran suhu, dan spektrofotometer UV-Vis untuk pengukuran UV-Vis.
8. Perhitungan THM dilakukan dengan pendekatan 7 rumus empiris.

1.5 Manfaat

Manfaat yang didapatkan dengan tercapainya penelitian ini antara lain yaitu :

1. Menyediakan data rumus prediksi konsentrasi TTHM yang paling sesuai dari 7 rumus empiris.
2. Menyediakan informasi perbandingan kemampuan instalasi konvensional dan ultrafiltrasi di IPA Siwalanpanji dalam meminimalisasi kandungan TTHM.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Delta Tirta Kabupaten Sidoarjo

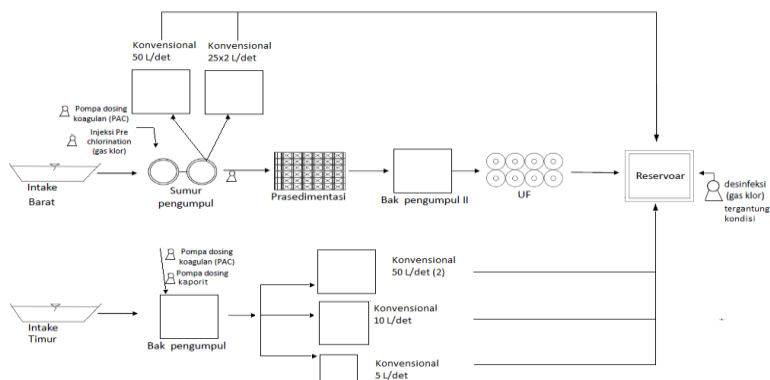
Sejak jaman Hindia-Belanda sudah terdapat pelayanan air bersih di Kabupaten Sidoarjo oleh *Waterleiding Bendrijven*. Saat kemerdekaan Indonesia, kepengurusannya dilimpahkan kepada Dinas Perkerjaan Umum Provinsi Jawa Timur (PDAM Delta Tirta Sidoarjo, 2008). Menurut Perda Provinsi Dati I : No. 4/1976, tanggal 10 Juli 1976, Kabupaten Sidoarjo menerima 1904 unit pelanggan yang meliputi wilayah Larangan, Candi, Candi Selatan, Porong, Gedangan, Waru, Buduran Selatan, Buduran Utara, Tanggulangin, Sepanjang, Kedurus, Driyorejo, Krian, Prambon dan Watu Tulis. Pada tanggal 5 Juli 1978 terbit Peraturan Daerah Kabupaten Dati II Sidoarjo No. 5/1978 tentang Pembentukan Perusahaan Air Minum (PDAM) dan disahkan oleh Gubernur KDH Tingkat 1 Jawa Timur, dengan Nomor : HK/498/1978.

Kabupaten Sidoarjo sudah mencapai 96.989 Sambungan Rumah. Sumber air baku yang digunakan oleh PDAM Delta Tirta Kabupaten Sidoarjo adalah Sungai Pelayaran, Mangetan Kanal Krian, Kanal Porong, Kedunguling, dan Afvoer Buduran. Kemudian, PDAM Delta Tirta memiliki lima buah instalasi pengolahan air minum (IPA) yang tersebar di Kabupaten Sidoarjo yaitu IPA Krian, IPA Tawangsari, IPA Siwalanpanji, IPA Kedung Uling, dan IPA Porong (PDAM Delta Tirta Sidoarjo, 2008).

2.2 Gambaran Umum Instalasi Pengolahan Air (IPA) Siwalanpanji PDAM Delta Tirta

IPA Siwalanpanji memiliki 6 instalasi pengolahan air yang terdiri dari 5 instalasi konvensional dalam bentuk paket dan 1 instalasi dengan *ultrafiltration* (UF) yang saling interkoneksi. Aliran pada system dapat berubah berdasarkan kondisi lapangan. Pada musim hujan, aliran yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 2.1

Menurut Peraturan Bupati Sidoarjo no. 86 Tahun 2019, IPA pertama yang dibangun adalah IPA paket 5 L/det pada tahun 1995. Kedua, IPA paket kapasitas 10 L/det yang dibangun tahun 1999. Ketiga, IPA paket kapasitas 50 L/det hasil relokasi dari IPA Tambak Sumur pada tahun 2000. Selanjutnya, IPA dengan sistem ultrafiltrasi (kapasitas 100 L/det) yang dibangun bertahap pada tahun 2008 dan tahun 2010 melalui bantuan dana dari APBD Provinsi. Selanjutnya, pembangunan IPA paket 50 L/det pada tahun 2014 dan IPA paket 25x2 L/det kembar pada tahun 2015. Ultrafiltrasi dibangun karena kualitas afvoer yang lebih buruk dari sungai pada umumnya.



Gambar 2. 1 Diagram Alir IPA Siwalanpanji
Sumber: PDAM Delta Tirta Kabupaten Sidoarjo

Terdapat 2 intake pada instalasi yaitu timur dan barat. Pengolahan dimulai dari intake barat (Gambar 2.2) yang dialirkan ke sumur pengumpul 1 dan dilanjutkan ke sumur pengumpul 2 (Gambar 2.3). Pada sumur pengumpul 1 diberi koagulan PAC dan pre-klorinasi dengan kaporit dan gas klor. Setiap sumur pengumpul memiliki waktu detensi sekitar 5 menit. di Kemudian, aliran terpecah menjadi 3 yaitu menuju 2 instalasi konvensional dengan debit 50 L/det (Gambar 2.5) dan masuk ke prasedimentasi (Gambar 2.4). Setelah itu, air olahan menuju ke bak pengumpul (Gambar 2.6) yang memiliki waktu detensi selama 10 menit. Dari

bak pengumpul, aliran menuju unit UF (Gambar 2.7). Unit UF yang digunakan memiliki waktu detensi 10 menit.

Sedangkan, dari intake timur akan masuk ke bak pengumpul. Terdapat 2 pompa yang menuju bak pengumpul yaitu pompa *dosing* koagulan berupa PAC dan klorinasi dalam bentuk kaporit. Dari bak pengumpul akan dialirkan menuju 3 instalasi konvensional dengan debit 5 (Gambar 2.8), 10, dan 50 L/det (Gambar 2.9). Unit konvensional terdiri dari koagulasi, flokulasi, sedimentasi, dan filtrasi dengan waktu detensi sekitar 2 jam. Dari 6 instalasi tersebut, aliran menyatu kembali ke reservoir (Gambar 2.10) dimana dilakukan *post*-klorinasi yang bersifat opsional berdasarkan kondisi air di reservoir.



Gambar 2. 2 Intake IPA Siwalanpanji



Gambar 2. 3 Sumur Pengumpul IPA Siwalanpanji



Gambar 2. 4 Prasedimentasi IPA Siwalanpanji



Gambar 2. 5 Pengolahan Konvensional: 50 L/det (kiri) dan 25x2 L/det (kanan) IPA Siwalanpanji



Gambar 2. 6 Bak Pengumpul IPA Siwalanpanji



Gambar 2. 7 Unit Ultrafiltration



Gambar 2. 8 Pengolahan Konvensional 5 L/det



Gambar 2. 9 Pengolahan Konvensional: 50 L/det (kiri) dan 10 L/det (kanan) IPA Siwalanpanji



Gambar 2. 10 Reservoir IPA Siwalanpanji

2.3 Karakteristik Air Baku

Dalam penggunaan air baku menjadi air minum, karakteristik air baku menyatakan kualitas yang akan diolah. Kualitas air dapat diketahui dengan melakukan beberapa pengujian. Kualitas air mencakup tiga karakteristik, yaitu fisika, kimia, dan biologi (Suripin, 2001).

2.3.1 Karakteristik Fisik

Karakteristik fisik air baku meliputi suhu, kekeruhan, warna, zat padat terlarut, bau, dan rasa. Suhu sebaiknya tidak terlalu tinggi. Semakin tinggi suhu, maka reaksi kimia akan semakin cepat, sedangkan konsentrasi gas akan semakin turun, termasuk kadar oksigen dalam air (Letterman, 1999). Kekeruhan disebabkan oleh adanya bahan tersuspensi berupa koloid partikel halus dan bahan tersuspensi yang berukuran lebih besar. Nilai kekeruhan yang tinggi dapat mempersulit usaha penyaringan dan mengurangi efektivitas desinfeksi pada proses penjernihan air (Effendi, 2003).

Warna pada perairan ditimbulkan adanya bahan organik dan anorganik karena keberadaan plankton, humus, dan ion-ion logam misalnya besi dan mangan serta bahan-bahan lain. Zat padat terlarut (*Total Dissolved Solid / TDS*) adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan garam anorganik dan sejumlah kecil bahan organik yang terkandung dalam larutan (Islam *et al.*, 2017). TDS terukur dalam satuan Parts per Million (ppm) atau perbandingan rasio berat ion terhadap air. Contoh padatan terlarut dalam air adalah zat kapur, besi, timah, magnesium, tembaga, sodium, klorida, klorin dan lain-lain.

Tidak berbau artinya tidak terjadi pelapukan di dalam air oleh mikroorganisme, karena bau yang kadang tercium dalam air merupakan ciri terjadinya proses pelapukan bahan-bahan organik oleh mikroorganisme dalam air (Hidayati, 2006). Air minum biasanya tawar atau tidak memberikan rasa. Rasa pada air minum menunjukkan kehadiran berbagai zat yang dapat membahayakan kesehatan.

2.3.2 Karakteristik Kimia

Karakteristik kimia dalam air di antaranya meliputi pH, kandungan bahan kimia, dan kesadahan. pH merupakan salah satu parameter kualitas operasional penting untuk menentukan sifat korosif air. Kontrol pH sangat penting dilakukan pada setiap tahapan pengolahan air untuk memastikan penjernihan air yang baik dan desinfeksi (Elevli *et al.*, 2016). Air yang diperuntukkan sebagai air minum sebaiknya memiliki pH netral (+7) karena nilai pH berhubungan dengan efektivitas klorinasi (Hasrianti dan Nurasia, 2016). Dalam jumlah tertentu, tubuh membutuhkan air yang mengandung bahan kimia organik. Namun, apabila jumlah bahan kimia organik yang terkandung melebihi batas dapat menimbulkan gangguan pada tubuh (Wiyono *et al.*, 2017).

Kandungan bahan kimia anorganik pada air layak minum tidak melebihi jumlah yang telah ditentukan. Bahan - bahan kimia yang termasuk bahan kimia anorganik antara lain garam dan ion - ion logam (Fe, Al, Cr, Mg, Ca, Cl, K, Pb, Hg, Zn). Kesadahan dalam air ada dua macam, yakni kesadahan tetap (kesadahan non-bikarbonat) dan kesadahan sementara (kesadahan bikarbonat). Dua metode penurunan kesadahan yaitu dengan cara pemanasan (untuk kesadahan sementara) dan presipitasi (untuk kesadahan sementara maupun kesadahan tetap) (Masduqi dan Assomadi, 2016).

2.3.3 Karakteristik Biologi

Parameter mikrobiologi merupakan parameter yang membatasi jumlah maksimum *E.coli* dan total bakteri koliform per 100 ml sampel. Kontaminasi *E.coli* menjadi perhatian yang penting dalam setiap uji sampel air minum karena bakteri ini digunakan sebagai bakteri indikator sanitasi (Prihatini, 2012). *E.coli* ditularkan ke manusia melalui jalur *fecal* oral, terutama oleh konsumsi makanan dan air yang terkontaminasi, atau melalui kontak dengan hewan, kotoran dan tanah yang terkontaminasi. Pada tempat pembuangan tinja yang tidak saniter, *E.coli* dapat dengan mudah mencemari air permukaan (Gultom 2016).

2.4 Unit Pengolahan Air Baku

Penentuan unit pengolahan air baku menjadi air minum didasarkan oleh kualitas dan kuantitas air baku yang ada. Menurut Masduqi dan Assomadi (2016), secara umum pengolahan air minum secara lengkap dapat dibagi menjadi tiga tahap pengolahan, yaitu tahap pendahuluan/pertama (*pretreatment/primary*), tahap kedua (*secondary treatment*), dan tahap lanjutan (*advanced treatment*).

2.4.1 Intake

Intake dibangun pada sumber air baku dengan bertujuan untuk mengambil air baku dari sumbernya yang kemudian akan dialiri menuju instalasi pengolahan. Kapasitas *intake* harus dapat memenuhi jumlah kebutuhan hari maksimum harian sepanjang periode perencanaan (Ramadhani *et al.*, 2017).

2.4.2 Prasedimentasi

Prasedimentasi adalah unit pengolahan air minum yang bertujuan untuk mengendapkan partikel diskrit yang relatif mudah mengendap. Sedangkan Sedimentasi II adalah unit pengolahan air yang berfungsi untuk mengendapkan hasil proses koagulasi-flokulasi (Masduqi dan Slamet, 2002). Pada umumnya waktu detensi untuk sedimentasi adalah 1-2 jam (Darmasetiawan, 2011).

2.4.3 Koagulasi

Koagulasi adalah proses kimia fisik dari pencampuran bahan kimia (koagulan) ke dalam aliran air dan selanjutnya diaduk secara cepat dalam bentuk larutan tercampur. Beberapa jenis koagulan dalam praktik pengolahan air, antara lain aluminium sulfat ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14,3\text{H}_2\text{O}$), ferri klorida (FeCl_3 / $\text{FeCl}_3 \cdot 13,1\text{H}_2\text{O}$ / $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), dan ferri sulfat ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ / $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 36,9\text{H}_2\text{O}$) (Qasim *et al.*, 2000).

Alumunium sulfat dan *poly alumunium chloride* (PAC) merupakan koagulan anorganik dengan produksi terbanyak.

Alumunium sulfat biasanya disebut juga sebagai tawas. Bahan ini banyak dipakai, karena efektif untuk menurunkan kadar karbonat. Koagulasi dapat dilakukan dengan cara hidrolis, mekanis, maupun pneumatis. Aliran masuk air (hL), semakin besar nilai hL maka makin besar pula nilai G. Koagulasi memiliki waktu detensi 120 detik (Joko, 2010).

2.4.4 Flokulasi

Flokulasi merupakan pengadukan lambat untuk menggabungkan partikel-partikel padat yang telah terdestabilisasi menjadi flok-flok yang dapat diendapkan pada unit pengolahan berikutnya agar lebih cepat (Reynolds, 1982). Flokulasi dapat dilakukan dengan cara pengadukan hidrolis, mekanik, dan pneumatik. Flokulasi memiliki waktu detensi berkisar 15 menit (Joko, 2010).

2.4.5 Sedimentasi

Sedimentasi adalah proses pemisahan *solid-liquid* menggunakan pengendapan secara gravitasi untuk menyisihkan *suspended solid*. Pada pengolahan air minum, penerapan sedimentasi bertujuan untuk pengendapan air permukaan, pengendapan flok koagulasi dan flokulasi, dan pengendapan lumpur pada penyisihan besi dan mangan. Bak Sedimentasi umumnya dibangun dari bahan beton bertulang dengan bentuk segi empat atau lingkaran (Priambodo, 2016). Menurut Rahimah *et al.* (2016), rangkaian pengolahan koagulasi-flokulasi-sedimentasi yang menggunakan koagulan *polyalumunium chloride* (PAC) memiliki kemampuan untuk mereduksi COD sebesar 78,57%

2.4.6 Filtrasi

Filtrasi adalah suatu proses pemisahan zat padat dari fluida (cair maupun gas) yang membawanya menggunakan suatu media berpori atau bahan berpori lain untuk menghilangkan sebanyak mungkin zat padat halus yang tersuspensi dan koloid. Adapun proses filtrasi pada pengolahan air minum bertujuan untuk menyaring air hasil proses koagulasi-flokulasi, dan sedimentasi

untuk menghasilkan air minum berkualitas tinggi. Tipe filter yang digunakan untuk proses filtrasi dibagi menjadi dua yaitu, filter pasir cepat dan filter pasir lambat. Tipe filter dipilih melalui banyak pertimbangan seperti volume air yang akan diolah, waktu, area yang tersedia, dan biaya operasional (Masduqi dan Assomadi, 2016). Pada umumnya, jenis filter yang digunakan dalam pengolahan konvensional adalah filter pasir cepat. Filter jenis ini memiliki kemampuan mereduksi COD sebesar 86,71% (Rahimah *et al.*, 2016).

Filter pada umumnya masuk pengolahan konvensional. Namun, ada beberapa jenis filter yang merupakan konsep baru seperti *ultrafiltration* (UF). UF adalah teknologi pemisahan membran yang memisahkan, memurnikan, dan memekatkan solusi antara mikrofiltrasi dan nanofiltrasi. UF dapat mencegah berat molekul 500 ~ 500000 Da. Diameter perkiraan yang sesuai adalah sekitar 0,001 ~ 0,1 μ m, perbedaan tekanan operasi umumnya 0,1 ~ 0,8MPa, dan diameter komponen yang dipisahkan sekitar 0,005 ~ 10 μ m (Liuqin, 2011).

Dibandingkan dengan proses konvensional, proses UF memiliki keuntungan sebagai berikut: (1) Tingkat kekeruhan tinggi serta akurasi penyaringan, kualitas air limbah stabil dan dapat diandalkan, indeks kualitas air hanya sedikit berubah, dan dipengaruhi sedikit oleh faktor lain. Dalam reduksi kekeruhan dan partikel, proses UF memiliki tingkat yang lebih tinggi dari proses konvensional, kekeruhan limbah stabil di bawah 0,1 NTU, dan laju pemindahan bahan partikel hingga 99,9%; (2) Secara efektif dapat menghilangkan mikroorganisme patogen. Teknologi UF mampu secara efektif menghilangkan mikroorganisme patogen dan virus patogen seperti Giardia, Cryptosporidium dan bakteri dalam air (Laine *et al.*, 2000). Kemampuan unit ultrafiltrasi dalam pengolahan COD adalah 97% (Abdessemed *et al.*, 1999).

2.4.7 Desinfeksi

Desinfeksi dalam pengolahan air minum dilakukan untuk melindungi pemakai air dari bahaya mikroorganisme yang terkandung dalam air. Metode yang umum digunakan dalam

pengolahan desinfeksi adalah kimiawi, fisik, dan radiasi. Untuk pengolahan air minum pada umumnya menggunakan desinfeksi secara kimiawi dan beberapa dengan radiasi (Masduqi dan Assomadi, 2016).

2.4.8 Reservoir

Sebelum didistribusikan, air hasil olahan harus ditampung terlebih dahulu di unit *reservoir*. *Reservoir* digunakan pada sistem distribusi untuk meratakan aliran, untuk mengatur tekanan, dan untuk keadaan darurat. *Reservoir* terdiri dari dua jenis yaitu *ground storage reservoir* dan *elevated storage reservoir*. Waktu retensi untuk bak *reservoir* sebesar 4 jam (Darmasetiawan, 2001). Menurut Hammer (1986), kapasitas *reservoir* dapat langsung dihitung dengan memperkirakannya sebesar 15%-20% dari debit rata-rata.

2.5 Klorinasi

Klorin memiliki hubungan kuat dengan tingkat keberadaan bakteri. Semakin banyak kadar klorin yang diberikan semakin banyak bakteri yang akan mati. Klorin memiliki kadar optimal dalam proses pemusnahan bakteri. Klorin relatif murah, tersedia secara bebas dan dapat diangkut dan disimpan dengan relatif mudah. Selain itu, ia memiliki aktivitas spektrum luas terhadap sebagian besar patogen yang terbawa air (virus, bakteri, dan protozoa). Oleh karena itu, klorin digunakan secara luas sebagai disinfektan untuk sistem air minum (Rajamohan *et al.*, 2012).

2.5.1 Jenis Klorinasi

Klorinasi dapat dilakukan dari bentuk klor padat, cair, atau gas.

1. Gas (Cl_2)

Klorin diproduksi *off-site* sebagai gas, dicairkan di bawah tekanan dan disimpan sebagai cairan. Gas cair dikirim ke pekerjaan pengolahan sebagai silinder (33 kg dan 71 kg Cl_2 bersih) dan drum (864 kg dan 1000 kg bersih Cl_2). Untuk situs terbesar dapat dikirim dalam jumlah besar dan disimpan dalam tangki yang

dirancang khusus. Untuk meminimalkan risiko klor yang beracun, sebagian besar sistem untuk mengirimkan gas ke proses pengolahan dirancang untuk beroperasi di bawah vakum (EPA, 2011). Gas klor disuntikan langsung ke instalasi pengolahan air bersih, pembubuhan gas menggunakan peralatan tertentu yang memenuhi ketentuan yang berlaku (Kawamura, 1991). Pencampuran yang baik harus disediakan pada titik pemberian dosis, menggunakan pencampur statis in-line jika perlu, terutama jika aliran akan terbagi setelahnya (EPA, 2011).

2. Cair (NaOCl)

Natrium hipoklorit komersial dibuat melalui reaksi antara klorin dan natrium hidroksida dan disuplai sebagai larutan berair dengan konsentrasi maksimum yang setara dengan ca. 15% w/w Cl_2 . Meskipun lebih mahal daripada gas klorin, penggunaan natrium hipoklorit dalam jumlah besar dapat menangkai biaya peningkatan kesehatan dan keselamatan, lebih mudah dan lebih aman untuk digunakan dan mengurangi risiko pelepasan gas klor (EPA, 2011). Kaporit atau sodium hipoklorit dibubuhkan ke instalasi pengolahan air bersih secara gravitasi atau mekanis (Kawamura, 1991).

3. Padat (Ca(OCl)_2)

Kalsium hipoklorit, yang dijual dalam bentuk bubuk putih dan tablet, biasanya digunakan untuk meningkatkan konsentrasi klorin di reservoir layanan atau terkadang untuk klorinasi pada pekerjaan kecil. Granular kalsium hipoklorit datang dalam bentuk kapur diklorinasi (campuran Ca(OH)_2 , CaCl_2 dan Ca(OCl)_2) atau uji hipoklorit tinggi (HTH). Semua bentuk kalsium hipoklorit dibuat dengan bahan inert tambahan (mis. 30-35% w / w dalam kasus tablet HTH dan 65-80% w / w dalam kasus kapur diklorinasi dalam bentuk bubuk).

2.5.2 Metode Pembubuhan

Menurut Kawamura (1991), klorinasi dapat dibagi menjadi 3 jenis berdasarkan metode pembubuhannya yaitu *pre-chlorination* yang dilakukan di awal, *post-chlorination* atau *dastchlorinasi* yang dilakukan pada akhir, dan *break point* yang dibubuhkan berdasarkan grafiknya.

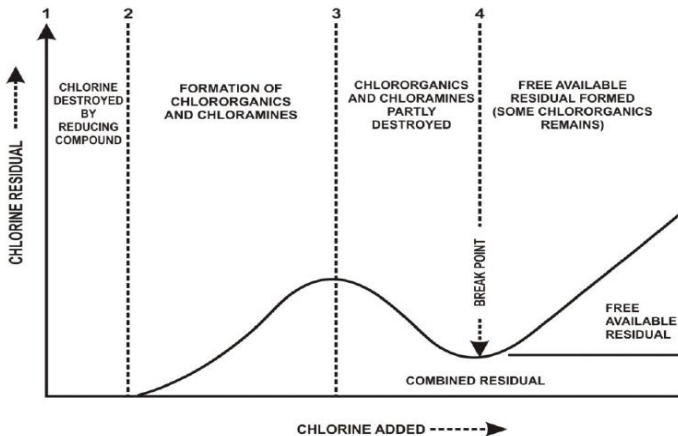
1. *Pre-Chlorination*

Klorin ditambahkan langsung pada air baku, tujuan adalah untuk mengurangi bakteri yang akan melewati filter sehingga beban filter dapat dikurangi;

- Menghilangkan polutan dalam air seperti rasa dan bau
- Semua zat yang dioksidasi teroksidasi seperti besi, mangan.
- Mencegah molekul organik seperti warna
- Mencegah pertumbuhan jamur
- Mencegah pertumbuhan alga (ganggang)

2. *Post-Chlorination*

Yaitu tahap pemberian klor yang bertujuan untuk membunuh mikroba yang masih terikat dalam air terutama mikroba patogen.



Gambar 2. 11 Breakpoint Chlorination

Sumber: White, 1992; USEPA, 1999

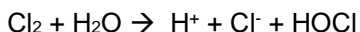
3. *Break Point*

Penambahan klorin ketika terjadi titik *break point* dari residu klorin kombinasi menjadi klorin bebas (Kawamura, 1991). Sisa klor yang memenuhi syarat kesehatan sebagai air yang layak diminum berkisar antara 0,2 – 0,5 mg/l (Moersidik, 1999). Grafik *breakpoint chlorination* dapat dilihat pada Gambar 2.11.

2.5.3 Mekanisme Klorinasi

Klorin memiliki hubungan kuat dengan tingkat keberadaan bakteri. Semakin banyak kadar klorin yang diberikan semakin banyak bakteri yang akan mati. Klorin memiliki kadar optimal dalam proses pemusnahan bakteri. Untuk mengetahui kadar optimal yang digunakan sebagai desinfektan, akan dilakukan pengujian terlebih dahulu dalam skala laboratorium sebelum diaplikasikan ke proses pengolahan air minum. Penambahan klorin yang melebihi kadar optimal yang sesuai dengan kebutuhan akan dirasa berlebihan dan akan menyisakan klorin, klorin yang tersisa dalam air tersebut dikenal dengan sebutan klor bebas, adapun klor bebas terbentuk dari reaksi antara kandungan organik air dengan desinfektannya (Richardson, 2003).

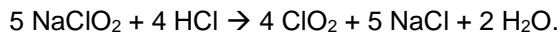
Klorin adalah desinfektan yang paling banyak digunakan untuk inaktivasi patogen yang ditularkan melalui air dalam pengolahan air dalam bentuk gas klor, kloramin, dan yang terutama natrium hipoklorit (Li *et al.*, 2017). Faktor yang mempengaruhi adalah suhu, pH dan kandungan organik dalam air. Ketika gas klor dilarutkan dalam air, ia dengan cepat terhidrolisis menjadi asam klorida (HCl) dan asam hipoklorida (HOCl) (Lin, 2001).



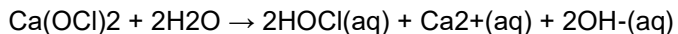
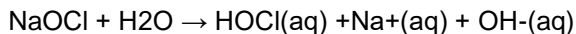
Klorin memiliki aksi bakterisida yang kuat melalui “penyumbatan” aktivitas vital, dengan mekanisme yang agak rumit. Tindakan utama klorin adalah memodifikasi struktur kimia enzim yang menjadi dasar mekanisme nutrisi bakteri, menonaktifkannya

dan dengan demikian menghambat perkembangan dan kehidupannya.

Klorin dioksida adalah agen bakterisida lain yang kekuatan disinfektannya sama atau lebih tinggi dari klorin. Klorin dioksida adalah gas hijau kuning dengan bau menyengat, larut dalam air, tetapi sangat tidak stabil. Biasanya dihasilkan oleh natrium hipoklorit dan asam klorida dan menghasilkan produk sampingan berupa garam dan air sebagai berikut:



Klorin dioksida ditandai dengan daya pengoksidasi yang tinggi, yang merupakan penyebab potensi kuman yang tinggi. Karena kekuatan oksidatif yang tinggi, mekanisme eliminasi bakteri yang mungkin dapat mencakup inaktivasi sistem enzimatik atau gangguan sintesis protein (Cho *et al.*, 2010). Sedangkan, berikut adalah reaksi untuk natrium hipoklorit dan sodium hipoklorit:



2.5.4 Produk Sampingan Klorinasi

Proses desinfeksi dapat menghasilkan pembentukan produk samping desinfeksi organik dan anorganik. Klorin, dengan adanya zat organik alami, menghasilkan trihalometana dan asetoasetat, yang diketahui bersifat karsinogenik bagi manusia (Rebhun *et al.*, 1997). Trihalomethanes (THMs) umumnya paling lazim. Ini adalah kelompok senyawa yang mudah menguap, yang terdiri dari kloroform, bromodiklorometana (BDCM), klorodibromometana (CDBM), dan bromoform.

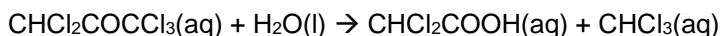
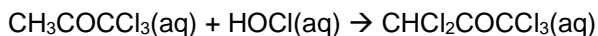
Klorin bereaksi dengan senyawa organik alami (seperti asam humat dan fulvat) untuk membentuk berbagai senyawa organik terhalogenasi yang tidak diinginkan termasuk THM, asam haloasetat (HAA), klorofenol, hidrat kloral, dan haloasetonitril (HAN). Kloroform biasanya merupakan produk yang paling umum

terbentuk, meskipun THM brominasi dapat terjadi pada konsentrasi tinggi ketika air dengan konsentrasi bromida tinggi diklorinasi. Kebanyakan DBP lain terjadi pada konsentrasi jejak (biasanya $<1 \mu\text{g L}^{-1}$) (Nieuwenhuijsen *et al.*, 2000).

Berdasarkan Gambar 2.11, pembentukan produk sampingan klorinasi terjadi saat pembentukan residu klor mengalami kenaikan hingga puncaknya. Kemudian, saat fase konsentrasi residu klor menurun, produk sampingan klorinasi terdestruksi dan juga mengalami penurunan. Setelah itu, fase setelah *breakpoint chlorination*, produk sampingan klorinasi yang tidak terdestruksi tetap ada di air pengolahan. Sehingga, waktu reaksi merupakan faktor penting yang perlu dipertimbangkan.

2.6 THM

Pembentukan *chlorination by-products* (CBP) ini terutama terjadi karena reaksi yang melibatkan zat organik, seperti asam humat dan asam fulvat dengan dosis klorin (Chow, 2006). Zat-zat ini adalah produk penguraian bahan organik alami yang ada dalam air. Studi tentang toksisitas CBP telah difokuskan pada trihalomethanes (THMs), yang telah tersedia banyak data tentang karsinogenisitas (Richardson *et al.*, 2007). Kloroform, bromodiklorometana, dibromo-klorometana, dan bromoform adalah trihalometana utama. Salah satu THM adalah kloroform. Pertama, semua bentuk klor bereaksi dengan air untuk menghasilkan asam hipoklorit (HOCl). Kemudian, keberadaan *halogenic acetic acid* (HAA) di air seperti *trichloroacetone* ($\text{CH}_3\text{COCCl}_3$) merupakan reaksi dari propanon dan klor yang kemudian bereaksi membentuk *pentachloroacetone* ($\text{CHCl}_2\text{COCCl}_3$). Selanjutnya, *pentachloroacetone* bereaksi dengan air membentuk chloroform (CHCl_3) dan asam dikloroasetat (CHCl_2COOH). Berikut adalah persamaan reaksi kimianya (Voukkali dan Zorpas, 2015):



Oliver dan Lawrence (1979), Reckhow dan Singer (1985), Fleischacker dan Randtke (1983), dan Norwood *et al.* (1980) telah mengamati pengaruh banyaknya dosis klor terhadap pembentukan THM.

Menurut Masduqi dan Assomadi (2016), THM dapat dihilangkan dengan mengolah prekursornya yaitu NOM. NOM dapat diolah dengan koagulasi yang dipertinggi, preoksidasi, adsorpsi, dan aerasi. Selain mengolah prekursor, THM juga dapat diolah setelah terbentuk dengan adsorpsi.

2.6.1 Faktor Pembentukan THM

Laju dan tingkat pembentukan THM adalah fungsi dari banyak parameter seperti dosis klorin dan residu, karbon organik dan konsentrasi bromida (Sketchell *et al.*, 1995). TOC, UV_{254} dan *specific ultraviolet absorbance* (SUVA) adalah parameter yang dapat digunakan untuk menyatakan zat-zat organik yang berperan dalam pembentukan THM (Özdemir dan Güngör, 2018). Berdasarkan penelitian Edzwald *et al.* (1985), UV_{254} dikatakan dapat digunakan sebagai estimasi prekursor THM. Menurut Albrektiene *et al.* (2012), hubungan antara TOC dan UV_{254} dikatakan cukup tinggi dengan koefisien pembandingan sebesar 0,94. Kemudian, Kim *et al.* (2016) juga mengamati hubungan dimana absorpsi UV dapat digunakan untuk mengetahui konsentrasi TOC.

Konsentrasi brom berpengaruh karena ion brom dioksidasi membentuk brom oleh klor bebas. Ion brom dapat bereaksi juga dengan zat organik membentuk THM. Juga, parameter seperti waktu kontak mempengaruhi reaksi dosis klor dalam pembentukan THM (Özdemir *et al.*, 2014). Selain itu, parameter seperti pH dan temperatur juga mempengaruhi pembentukan THM. Semakin tinggi temperatur air, maka laju pembentukan THM semakin meningkat. Sama halnya dengan suhu, semakin tinggi pH, maka laju pembentukan THM meningkat (Culp dan Wesner, 1986).

2.6.2 Parameter Pengukuran THM

Salah satu parameter yang sangat berguna untuk menilai kecenderungan pembentukan trihalometana adalah potensi

pembentukan THM (THMFP). Tes karbon organik total atau terlarut (TOC atau DOC) adalah tes terkait (Marhaba dan Van, 2000). THMFP dari sumber air baku akan menunjukkan THM maksimum yang mungkin dihasilkan setelah klorinasi dan karenanya merupakan indikator yang sangat berguna sejauh menyangkut air minum.

$$\text{Terminal THM} - \text{Instantaneous THM} = \text{THMFP} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana:

- Terminal THM : konsentrasi THM sesudah periode waktu yang ditentukan (waktu pengolahan air di instalasi ditambah dengan waktu detensi di distribusi.
- *Instantaneous* THM : konsentrasi THM saat pengambilan sampel

Trihalomethane total (TTHM) adalah jumlah dari semua konsentrasi THM. *U.S. Environmental Protection Agency* (US EPA) telah menetapkan tingkat pencemaran maksimum 0,080 mg / L (80 ppb) untuk TTHM dalam air minum (Richardson 2003). Menurut penelitian Cristo *et al.* (2013), ada beberapa rumus empiris yang telah diteliti untuk prediksi TTHM. Pada Tabel 2.1 terdapat beberapa rumus empiris pembentukan TTHM.

Tabel 2. 1 Rumus Empiris Prediksi Total Trihalometanan (TTHM)

Sumber	Konsentrasi TTHM (µg/L)
Al-Omari <i>et al.</i> , 2004	$4,527 tc^{0,127} D^{0,595} TOC^{0,596} C_{Br-}^{0,103} pH^{0,66}$
Amy <i>et al.</i> , 1998	$0,00412 DOC^{1,10} tc^{0,260} D^{0,152} C_{Br-}^{0,068} T^{0,61} pH^{1,60}$
Chang <i>et al.</i> , 1996	$12,72 TOC^{0,291} tc^{0,271} D^{0,072}$
	$108,80 TOC^{0,2466} tc^{0,2956} UV_{254}^{0,9919} D^{0,126}$
	$131,75 tc^{0,2931} UV_{254}^{1,075} D^{0,1064}$
Harrington <i>et al.</i> , 1992	$0,00309 (TOC \cdot UV_{254})^{0,44} D^{0,409} tc^{0,265} T^{1,06} (pH - 2,6)^{0,715} (C_{Br-} + 1)^{0,03}$
Boyalla, 2004	$0,0001 D^{3,14} pH^{1,56} TOC^{0,69} tc^{0,175}$
Rathbun, 1996	$14,6 (pH - 3,8)^{1,01} D^{0,206} UV_{254}^{0,849} tc^{0,306}$
Rodriguez <i>et al.</i> , 2000	$0,44 DOC^{1,030} tc^{0,262} pH^{1,149} D^{0,277} T^{0,968}$
	$1,392 DOC^{1,092} pH^{0,532} T^{0,255}$

Sumber	Konsentrasi TTHM ($\mu\text{g/L}$)
Serodes <i>et al.</i> , 2003	$16,9 + 16,0\text{TOC} + 3,319\text{D} - 1,135\text{T} + 1,139\text{tc}$ $1,33 + 2,612\text{TOC} + 0,102\text{D} + 0,255\text{T} + 0,102\text{tc}$
Sohn <i>et al.</i> , 2004	$10^{-1,385}\text{DOC}^{1,098}\text{tc}^{0,263}\text{D}^{0,152}\text{C}_{\text{Br}}^{0,068}\text{T}^{0,609}\text{pH}^{1,601}$ $0,42\text{UV}_{254}^{0,482}\text{tc}^{0,261}\text{D}^{0,339}\text{C}_{\text{Br}}^{0,023}\text{T}^{0,617}\text{pH}^{1,601}$ $0,283(\text{DOC}.\text{UV}_{254})^{0,421}\text{D}^{0,145}\text{C}_{\text{Br}}^{0,041}\text{tc}^{0,261}$ $\text{T}^{0,614}\text{pH}^{1,606}$ $3,296\text{DOC}^{0,801}\text{D}^{0,261}\text{C}_{\text{Br}}^{0,223}\text{tc}^{0,264}$ $75,7\text{UV}_{254}^{0,593}\text{D}^{0,332}\text{C}_{\text{Br}}^{0,603}\text{tc}^{0,264}$ $23,9(\text{DOC}.\text{UV}_{254})^{0,403}\text{D}^{0,225}\text{C}_{\text{Br}}^{0,141}\text{tc}^{0,264}$
Urano <i>et al.</i> , 1983	$0,00082(\text{pH} - 2,8)(\text{TOC} \cdot \text{D}^{0,25})\text{tc}^{0,36}$

Dimana:

tc = waktu kontak (jam)
 D = dosis klor (mg/L)
 TOC = *Total Organic Carbon* (mg/L)
 DOC = *Dissolved Organic Carbon* (mg/L)
 C_{Br} = konsentrasi ion bromida ($\mu\text{g/L}$)
 pH = derajat keasaman
 UV_{254} = absorbansi pada panjang gelombang 254 nm
 T = suhu (Celsius)

Menurut Diego-McGlone *et al.* (1999), rasio TOC dan COD adalah 0,94 yang berarti konsentrasi TOC didapat dari perkalian konsentrasi COD dengan 0.94. Sehingga pengukuran THM dapat dilakukan melalui Analisa COD. Hasil dari uji COD dapat dikonversi dengan hubungan yang didapat pada penelitian tersebut.

2.6.3 Efek THM

Menurut NHDES (2006), kloroform dapat diserap ke dalam tubuh melalui konsumsi, inhalasi, dan melalui kulit. Sumber terbesar paparan manusia terhadap THM di AS adalah dari konsumsi air minum terklorinasi. Selain mengonsumsi air, penggunaan air lainnya di rumah dapat berkontribusi signifikan terhadap total paparan kloroform baik dari menghirup kloroform yang diupkan ke udara dan dari itu melewati kulit selama mandi. Berenang di kolam terklorinasi juga akan berkontribusi terhadap

paparan total dari jalur paparan yang sama. Satu studi mengamati bahwa persentase yang lebih besar dari kloroform melewati kulit ketika suhu air mandi meningkat. Kloroform tidak berkonsentrasi pada tanaman. Oleh karena itu, kontribusi dari makanan terhadap paparan kloroform total kecil.

Efek Jangka Pendek (Akut)

Bukti efek akut kloroform pada manusia telah diperoleh terutama selama penggunaannya di masa lalu sebagai anestesi inhalasi. Selain efek sistem saraf pusat, anestesi kloroform dikaitkan dengan aritmia jantung. Serta, kelainan pada hati dan ginjal. Eksperimen paparan inhalasi dengan hewan mengungkapkan bahwa sangat beracun bagi hati dan kedua bagi ginjal. Kontak kulit dengan kloroform murni dapat menyebabkan sensasi terbakar, kemerahan, dan lepuh. Efek akut dari paparan THM lain tidak didokumentasikan dalam literatur, tetapi diduga mirip dengan kloroform.

Efek Jangka Panjang (Kronis)

Paparan oral manusia yang kronis terhadap kloroform pada dosis tinggi menghasilkan efek buruk pada sistem saraf pusat, hati, ginjal, dan jantung. Penelitian pada hewan menunjukkan penurunan berat badan pada tikus dan tikus yang diberi kloroform pada dosis oral yang tinggi dan peningkatan insiden penyakit pernapasan pada dosis yang lebih tinggi.

Pada dosis yang masih lebih tinggi diberikan secara oral, kelainan hati dan penurunan ukuran organ reproduksi diamati pada tikus. Dalam penelitian pada hewan yang meneliti efek paparan kronis terhadap masing-masing THMS lainnya, toksisitas hati diamati dan menyebabkan keracunan ginjal.

Efek Karsinogenik (penyebab kanker)

Kloroform telah dibuktikan oleh beberapa penelitian untuk menghasilkan tumor ginjal dan hati pada tikus ketika diberikan secara oral. Dalam studi populasi manusia yang menggunakan air minum terklorinasi di mana kloroform adalah THM yang dominan, peningkatan kecil dalam kejadian kanker dubur, usus besar dan

kandung kemih telah secara konsisten diamati, dengan bukti terkuat untuk kanker kandung kemih.

Namun, karena kemungkinan karsinogen lain ditemukan dalam air ini, tidak mungkin untuk mengidentifikasi kloroform sebagai agen karsinogenik tunggal. Karena tingkat paparan ambang tertentu diperlukan untuk menyebabkan toksisitas sel, kanker dari paparan kloroform hanya dapat terjadi jika ambang tersebut terlampaui.

2.7 Persyaratan Kualitas Air Minum

Standar kualitas air minum yang digunakan di Indonesia adalah Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 492/MENKES/PER/IV/2010 tanggal 09 April 2010. Di dalam peraturan tersebut mencakup parameter wajib dan tambahan. Parameter wajib dapat dilihat pada Tabel 2.2. Persyaratan - persyaratan baku mutu terdiri dari persyaratan fisik, kimia, bakteriologis dan radiologis, sebagai berikut:

1. Persyaratan Fisik

Parameter dalam persyaratan fisik untuk air minum yaitu warna, rasa dan bau, temperatur, dan kekeruhan.

2. Persyaratan Kimia

Syarat kimia adalah tidak adanya kandungan unsur atau zat kimia yang berbahaya bagi manusia. Parameter dalam persyaratan ini terbagi menjadi dua yaitu bahan kimia yang berpengaruh langsung pada kesehatan dan menimbulkan keluhan pada konsumen. Bahan kimia yang termasuk di dalam parameter ini adalah bahan anorganik, organik, pestisida, serta desinfektan dan hasil sampingannya (Gultom, 2016).

3. Persyaratan Bakteriologis

Parameter persyaratan bakteriologis adalah jumlah maksimum *E.coli* dan total bakteri *Coliform* per 100 ml sampel.

4. Persyaratan Radiologis

Persyaratan radiologis membatasi kadar maksimum alfa dan beta yang diperbolehkan dalam air minum.

Parameter ini merupakan parameter tambahan dalam Permenkes.

Tabel 2. 2 Parameter Wajib Baku Mutu Air Minum

No	Jenis Parameter	Satuan	Kadar Maksimum
1	Parameter yang berhubungan langsung dengan kesehatan		
	a. Parameter Mikrobiologi		
	1) E.Coli	100 ml sampel	0 ml sampel
	2) Total Bakteri Koliform	100 ml sampel	0 ml sampel
	b. Kimia an-organik		
	1) Arsen	mg/L	0,01
	2) Fluorida	mg/L	1,5
	3) Total Kromium	mg/L	0,05
	4) Kadmium	mg/L	0,003
	5) Nitrit	mg/L	3
	6) Nitrat	mg/L	50
	7) Sianida	mg/L	0,07
	8) Selenium	mg/L	0,01
2	Parameter yang tidak langsung berhubungan dengan kesehatan		
	a. Parameter Fisik		
	1) Bau		Tidak berbau
	2) Warna	TCU	15
	3) Total Zat Padat Terlarut (TDS)	mg/L	500
	4) Kekeruhan	NTU	5
	5) Rasa		Tidak berasa
	6) Suhu	°C	Suhu Udara ±3
	b. Parameter Kimiawi		
	1) Alumunium	mg/L	0,2
	2) Besi	mg/L	0,3

No	Jenis Parameter	Satuan	Kadar Maksimum
	3) Kesadahan	mg/L	500
	4) Khlorida	mg/L	250
	5) Mangan	mg/L	0,4
	6) pH		6,5-8,5
	7) Seng	mg/L	3
	8) Sulfat	mg/L	250
	9) Tembaga	mg/L	2
	10) Amonia	mg/L	1,5

Sumber: Permenkes No. 492 Tahun 2010

Terdapat juga parameter tambahan untuk bahan kimia dan radioaktifitas. Baku mutu untuk produk sampingan klorinasi terdapat pada parameter tambahan ini yang masuk dalam kategori kimia. Dari beberapa sub-kategori pada bahan kimia, THM masuk dalam sub-kategori desinfektan dan hasil sampingannya.

Tabel 2.3 memberikan informasi parameter tambahan, kategori kimia pada peraturannya. Pada tabel tersebut tidak terdapat baku mutu untuk konsentrasi TTHM. Baku mutu THM dibagi menjadi 4 jenisnya yaitu *Bromoform*, *Dibromochloromethane*, *Bromodichloromethane*, dan *Chloroform*. Sedangkan, menurut USEPA, baku mutu TTHM adalah 80 µg/L.

Tabel 2. 3 Parameter Tambahan Kimia Bahan Organik Baku Mutu Air Minum

No	Jenis Parameter	Satuan	Kadar Maksimum
1	Kimiawi		
	Bahan Organik		
	Zat Organik (KMnO ₄)	mg/L	10
	Desinfektan dan Hasil Sampingannya		
	Desinfektan		
	Chlorine	mg/L	5

No	Jenis Parameter	Satuan	Kadar Maksimum
	Hasil Sampangan		
	Bromate	mg/L	0,01
	Chlorate	mg/L	0,7
	Chlorite	mg/L	0,7
	Chlorophenols		
	2,4,6, -Trichlorophenol (2,4,6-TCP)	mg/L	0,2
	Bromoform	mg/L	0,1
	Dibromochloromethane (DBCM)	mg/L	0,1
	Bromodichloromethane (BDCM)	mg/L	0,06
	Chloroform	mg/L	0,3

Sumber: Permenkes No. 492 Tahun 2010

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Umum

Dalam penelitian ini, dilakukan kajian potensi produk sampingan yaitu dari desinfeksi yang menggunakan senyawa klor di IPA Siwalanpanji PDAM di Kabupaten Sidoarjo. Produk sampingan yang paling berpotensi terbentuk adalah Trihalometana (THM) yang dapat berdampak buruk bagi konsumen. Untuk mendapatkan hasil kajian, maka dibutuhkan pengumpulan data terlebih dahulu. Data yang diperlukan merupakan data primer dan sekunder. Data primer didapat dengan pengamatan dan pengambilan sampel. Kemudian, sampel dilakukan pengujian dari parameter-parameter pembentuknya. Data sekunder dapat diperoleh dari laporan-laporan yang ada di IPA Siwalanpanji PDAM di Kabupaten Sidoarjo untuk mengetahui karakteristik air baku yang digunakan, dosis klor yang digunakan, diagram alir, debit dan waktu detensi setiap unit. Beberapa penelitian telah mendapatkan rumus perhitungan konsentrasi Total Trihalometana (TTHM) dari parameter-parameter yang mempengaruhi pembentukan THM. Sehingga, rumus-rumus dengan kombinasi parameter yang berbeda dapat dibandingkan. Serta, adanya 2 jenis instalasi di IPA Siwalanpanji digunakan sebagai variasi penelitian.

3.2 Kerangka Penelitian

Kerangka penelitian ini disusun dengan tujuan:

1. Menjadi gambaran awal mengenai potensi kandungan produk sampingan desinfeksi pada IPA Siwalanpanji PDAM di Kabupaten Sidoarjo dalam pelaksanaan penelitian.
2. Mengetahui tahapan-tahapan yang harus dilakukan selama penelitian, dimulai dari penelitian pendahuluan hingga penulisan laporan akhir.

Gambar 3.1 menunjukkan rangkaian dari penelitian ini.

Ide Tugas Akhir

Studi Kemampuan Instalasi Pengolahan Air untuk Meminimalisasi Trihalometana (Studi Kasus IPA Siwalanpanji Kabupaten Sidoarjo)



Rumusan Masalah

1. Rumus prediksi konsentrasi TTHM mana yang paling sesuai dari 7 rumus empiris
2. Bagaimana perbandingan kemampuan instalasi konvensional dan ultrafiltrasi di IPA Siwalanpanji dalam meminimalisasi kandungan TTHM?



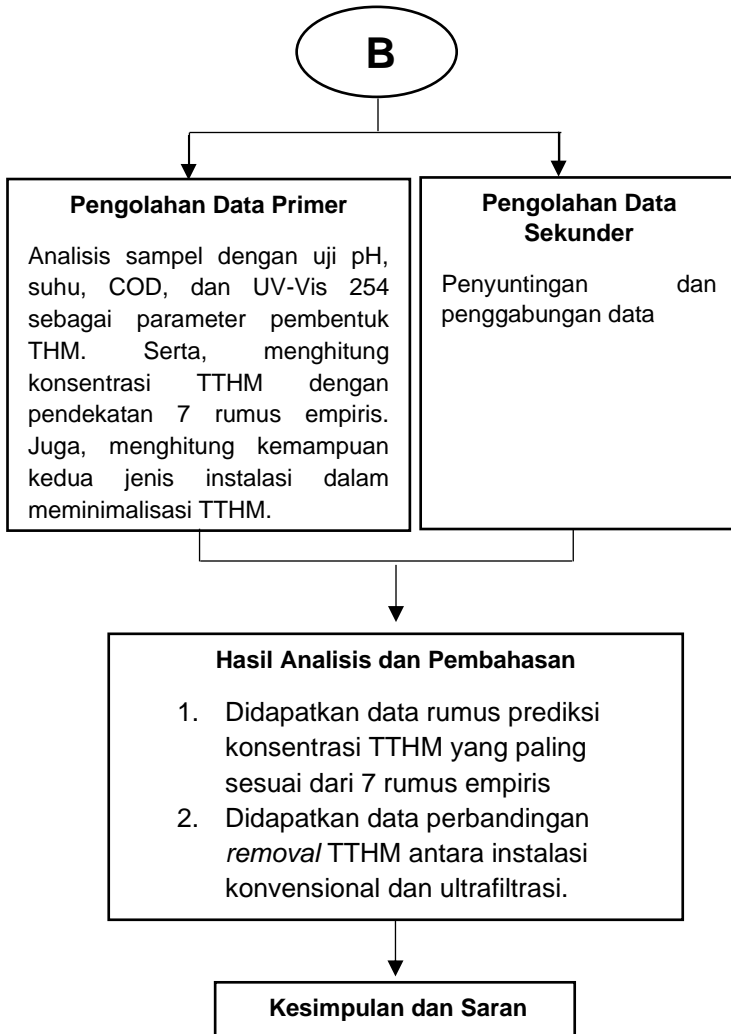
Tujuan Penelitian

1. Menentukan rumus prediksi konsentrasi TTHM yang paling sesuai dari 7 rumus empiris.
2. Melakukan perbandingan kemampuan instalasi konvensional dan ultrafiltrasi di IPA Siwalanpanji dalam meminimalisasi kandungan TTHM.



A





Gambar 3. 1 Diagram Alir Kerangka Penelitian Tugas Akhir

Penjelasan diagram alir kerangka penelitian tugas akhir adalah sebagai berikut:

3.2.1 Judul Tugas Akhir

Judul dari tugas akhir ini adalah “Studi Kemampuan Instalasi Pengolahan Air untuk Meminimalisasi Trihalometana (Studi Kasus IPA Siwalanpanji Kabupaten Sidoarjo)”. Judul ini mengacu dari kondisi eksisting dimana terdapat potensi pembentukan *trihalomethane* yang berbahaya bagi manusia. Sehingga, dibutuhkan penelitian dalam permasalahan ini. Ide tugas akhir ini ditindaklanjuti dengan proses persetujuan dengan perusahaan dan institusi.

3.2.2 Rumusan Masalah dan Tujuan

Rumusan masalah pada Tugas Akhir ini mengacu dari latar belakang yang telah dibuat berdasarkan kondisi eksisting. Rumusan masalah tugas akhir penelitian ini mengenai potensi pembentukan trihalometana yang berbahaya pada pengolahan air minum. Tujuan penelitian yang akan dilakukan untuk menjawab masalah yang ada adalah sebagai berikut:

1. Rumus prediksi konsentrasi TTHM mana yang paling sesuai dari 7 rumus empiris?
2. Bagaimana perbandingan kemampuan instalasi konvensional dan ultrafiltrasi di IPA Siwalanpanji dalam meminimalisasi kandungan TTHM?

3.2.3 Perijinan

Dalam menjalankan penelitian ini, diperlukan perijinan kepada pihak terkait PDAM di Kabupaten Sidoarjo. Dengan adanya perijinan, pengumpulan data untuk tugas akhir ini dapat dilakukan. Perijinan dibuat dengan persetujuan pihak Departemen Teknik Lingkungan ITS yang melampirkan proposal kegiatan.

Kemudian, perijinan ditujukan kepada Bakesbangpol Provinsi Jawa Timur. Selanjutnya, mengajukan perijinan ke Bakesbangpol Kabupaten Sidoarjo dan PDAM di Kabupaten Sidoarjo untuk mendapat persetujuan penelitian di IPA Siwalanpanji.

3.2.4 Tinjauan Pustaka

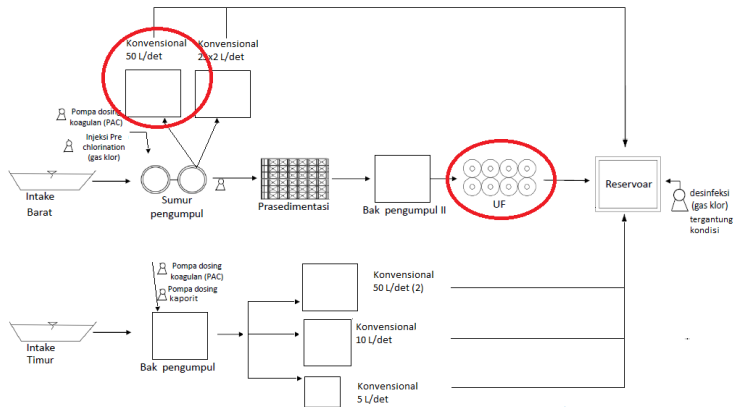
Tinjauan pustaka merupakan landasan teori dari penelitian yang dilakukan. Tinjauan pustaka juga dibuat sebagai referensi dan studi data-data yang dapat menunjang analisis dan pembahasan. Berbagai sumber dapat digunakan sebagai tinjauan pustaka penelitian ini seperti buku teks, jurnal nasional maupun internasional, skripsi, tesis, disertasi dan lain-lain. Tinjauan pustaka yang dibutuhkan adalah sebagai berikut:

1. PDAM Delta Tirta Kabupaten Sidoarjo
2. Gambaran Umum IPA Siwalanpanji PDAM Delta Tirta
3. Karakteristik Air Baku
4. Unit Pengolah Air Baku
5. Klorinasi
6. THM
7. Persyaratan Kualitas Air Minum

3.2.5 Pengumpulan Data

Ada 2 jenis data yang dikumpulkan untuk penelitian ini yaitu data primer dan data sekunder. Data primer yang dikumpulkan adalah sampel air baku dan sampel air dari unit pengolahan di beberapa titik setelah penambahan senyawa klor. Data primer didapat dari uji pada sampel.

Terdapat 6 instalasi di IPA Siwalanpanji dengan 2 intake. Pada penelitian ini, difokuskan pada sistem dari intake barat karena merupakan intake utama dalam instalasi. Intake timur adalah intake cadangan yang hanya digunakan pada kondisi-kondisi tertentu seperti musim hujan. Dalam penelitian ini, IPA yang akan dibandingkan adalah instalasi dengan UF dengan kapasitas 100 L/det dan instalasi konvensional 50 L/det (Gambar 3.2). IPA konvensional 50 L/det dipilih karena merupakan instalasi yang berasal dari sistem yang sama.



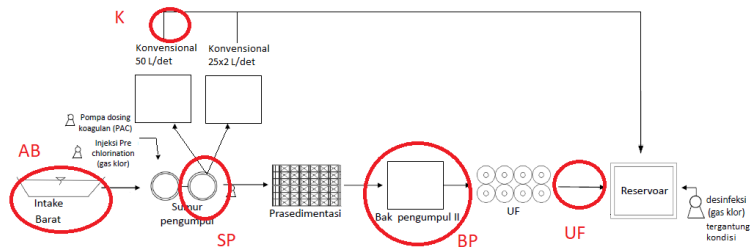
Gambar 3. 2 Kedua Jenis Instalasi yang Diteliti

Sampel yang diambil adalah sampel dari air baku, dan air olahan di instalasi. Sampel diambil 4 hari berturut-turut pada 5 titik (Gambar 3.3) yaitu:

1. Afvoer Buduran sebagai air baku yang digunakan (1 titik) dengan kode sampel AB. Pengambilan sampel pada titik.
2. Sumur pengumpul 2 sebagai air yang akan masuk ke unit konvensional dan unit prasedimentasi (1 titik) dengan kode sampel SP.
3. Bak pengumpul, unit sebelum masuk ke unit UF (1 titik) dengan kode sampel BP.
4. Outlet unit UF sebagai sampel hasil olahan UF (1 titik) dengan kode sampel UF.
5. Outlet unit konvensional sebagai sampel hasil olahan konvensional (1 titik) dengan kode sampel K.

Sehingga, jumlah sampel yang akan diambil selama penelitian adalah:

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah titik sampel total} &= 5 \text{ titik sampel/hari} \times 4 \text{ hari} \\
 &= 20 \text{ titik sampel}
 \end{aligned}$$



Gambar 3. 3 Titik Pengambilan Sampel

Setiap pengambilan sampel dilakukan pada jam 11.00 – 13.10. Hal tersebut dilakukan karena suhu tertinggi dalam satu hari berkisar pada jam tersebut. Menurut Culp dan Wesner (1986), semakin tinggi suhu, maka laku pembentukan THM meningkat. Sehingga, bias dari parameter suhu dapat dihindari.

Sampel yang diambil di titik SP, BP, UF dan K harus dipastikan merupakan aliran air yang sama dari pengambilan titik awal (AB). Oleh karena itu, debit dan waktu detensi setiap unit di antara titik sampel diperhitungkan untuk mendapat durasi waktu yang tepat untuk setiap titik dari titik awalnya. Berdasarkan survei data dari IPA Siwalanpanji dan juga literatur yang berhubungan, didapatkan data waktu detensi dengan kisaran sebagai berikut:

- Sumur pengumpul 1 = 5 menit
- Sumur pengumpul 2 = 5 menit
- Prasedimentasi = 1 jam
- Bak pengumpul = 5 menit
- UF = 15 menit
- Konvensional = 2 jam

Sehingga, dari data tersebut dapat ditentukan waktu untuk pengambilan sampel di setiap titik sebagai berikut:

- AB = 11.00 WIB
- SP = 11.10 WIB
- BP = 12.15 WIB
- UF = 12.30 WIB
- K = 13.10 WIB

3.2.6 Analisis (Pengolahan Data) dan Pembahasan

Dalam analisis dan pembahasannya, data sekunder dibutuhkan untuk mengetahui kandungan organik air baku yang digunakan untuk mengetahui *range* air baku. Juga, data dosis klor yang merupakan salah satu parameter pembentukan THM. Sehingga, data tersebut merupakan salah satu data yang dibutuhkan untuk mendapat konsentrasi TTHM.

Data primer didapat dari penelitian di laboratorium. Ada beberapa uji yang dilakukan untuk mendapat konsentrasi TTHM. Pengujian konsentrasi TTHM pada air sampel menggunakan pendekatan rumus. Banyaknya parameter yang dapat mempengaruhi pembentukan THM seperti pH, dosis klor, suhu, waktu kontak, dan, kandungan organik. Ada 7 rumus yang dapat dihitung dan dibandingkan dari parameter-parameter yang diukur. Pada Tabel 3.1 dapat dilihat rumus empiris yang digunakan dalam penelitian ini.

Tabel 3. 1 Rumus-Rumus Empiris untuk Menghitung Konsentrasi TTHM

Sumber	Konsentrasi TTHM ($\mu\text{g/L}$)
Chang <i>et al.</i> , 1996	$12,72 \text{ TOC}^{0,291} \text{ tc}^{0,271} \text{ D}^{-0,072}$
	$108,80 \text{ TOC}^{0,2466} \text{ tc}^{-0,2956} \text{ UV}_{254}^{0,9919} \text{ D}^{0,126}$
	$131,75 \text{ tc}^{0,2931} \text{ UV}_{254}^{1,075} \text{ D}^{0,1064}$
Boyalla, 2004	$0,0001 \text{ D}^{3,14} \text{ pH}^{1,56} \text{ TOC}^{0,69} \text{ tc}^{0,175}$
Rathbun, 1996	$14,6 (\text{pH} - 3,8)^{1,01} \text{ D}^{0,206} \text{ UV}_{254}^{0,849} \text{ tc}^{0,306}$
Serodes <i>et al.</i> , 2003	$16,9 + 16,0 \text{ TOC} + 3,319 \text{ D} - 1,135 \text{ T} + 1,139 \text{ tc}$
	$1,33 + 2,612 \text{ TOC} + 0,102 \text{ D} + 0,255 \text{ T} + 0,102 \text{ tc}$

Dimana:

- tc = waktu kontak (jam)
- D = dosis klor (mg/L)
- TOC = *Total Organic Carbon* (mg/L)
- pH = derajat keasaman
- UV₂₅₄ = absorbansi pada panjang gelombang 254 nm
- T = suhu (Celsius)

Rumus di atas menyatakan beberapa parameter pembentuk THM. Oleh karena itu, dilakukan uji pH, suhu, uji COD dan uji UV-Vis. Uji suhu dilakukan langsung di lokasi sampling dengan termometer air raksa. Uji pH dilakukan dengan alat pengukur pH merek *OHAUS Starter 3100 Bench Meter*. Pengujian kandungan organik akan dilakukan dengan uji COD. COD akan dikonversi ke TOC dengan perbandingan menurut Diego-McGlone *et al.* (2000) yaitu nilai TOC merupakan 0,94 dari nilai COD.

Uji COD dilakukan dengan metode refluks tertutup kolorimetri. Proses *digestion* COD dilakukan dengan pemanas atau *digester* merek *Macherey-Nagel Heating Block Nanocolor Vario 4*. Kemudian, pengukuran absorbansinya dilakukan dengan spektrofotometer merek *Genesys 30*. Uji Uv-Vis dilakukan dengan spektrofotometer UV-Vis merek *Genesys 150*. Metode sampling dan uji COD serta UV-Vis dapat dilihat pada lampiran A.

Nilai konsentrasi TTHM akan didapat dari ketujuh rumus tersebut. Lalu, rumus yang paling sesuai dipilih berdasarkan metode ranking. Metode ranking adalah metode yang paling sederhana untuk pemberian nilai bobot. Intinya setiap parameter akan disusun berdasarkan ranking (Malczewski, 1999). Setelah itu, dapat dihitung rumus yang paling sesuai dengan penelitian ini. Berikut adalah rumus pembobotan dengan ranking:

$$w_j = (n - r_j + 1) / \sum (n - r_p + 1)$$

Dimana:

w_j = bobot normal untuk parameter j

n = jumlah parameter

r_j = ranking parameter j

r_p = ranking parameter

Kemudian, dihitung persentase *removal* TTHM dari nilai konsentrasi TTHM di titik sebelum dan sesudah 2 jenis unit yang berbeda (konvensional dan UF) dengan rumus:

$$\% \text{ removal TTHM} = \frac{\text{Konsentrasi TTHM inlet unit} - \text{Konsentrasi TTHM outlet unit}}{\text{Konsentrasi TTHM inlet unit}} \times 100\%$$

Dari rumus tersebut, kemampuan kedua jenis instalasi pengolahan dalam reduksi konsentrasi TTHM dapat dihitung. Kemudian, hasil

perhitungan kemampuan kedua jenis instalasi dapat dibandingkan. Sehingga, dapat diketahui instalasi dengan performa yang lebih baik dalam meminimalisasi TTHM.

3.2.7 Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan merupakan jawaban dari tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini. Jawaban ini didapatkan dari hasil analisis dan pembahasan data yang didapat. Kesimpulan dari penelitian ini meliputi:

1. Didapatkan data rumus prediksi konsentrasi TTHM yang paling sesuai dari 7 rumus empiris.
2. Didapatkan perbandingan kemampuan instalasi konvensional dan ultrafiltrasi di IPA Siwalanpanji dalam meminimalisasi kandungan TTHM.

Juga, penelitian ini dapat dijadikan data untuk perbaikan pada instalasi maupun untuk saran penelitian atau perencanaan lanjutan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Kualitas Air Baku Instalasi Pengolahan Air (IPA) Siwalanpanji

Instalasi pengolahan air (IPA) Siwalanpanji merupakan salah satu pengolahan air yang menggunakan gas klor sebagai desinfektan. Gas klor dapat bereaksi dengan kandungan organik dari air baku membentuk produk sampingan desinfeksi berupa THM. Data dosis klor didapat dari penggunaan klor harian di IPA Siwalanpanji. Sedangkan, data kandungan organik didapat dari sampling dan pengujian. Menurut data pengujian air baku di IPA Siwalanpanji pada tahun 2019, COD rata-rata dalam setahun adalah 26,3 mg/L dengan kisaran 12,33 mg/L - 45,98 mg/L (Laboratorium Lingkungan PJT I, 2019).

Selain kedua parameter tersebut, dilakukan 3 pengukuran parameter lainnya yang berperan sebagai faktor yang mempengaruhi laju pembentukan THM. Ketiga parameter lainnya yang diukur adalah pH, suhu, dan waktu kontak di setiap titik sampling yang sudah ditentukan. Pada pengujian kualitas air baku IPA Siwalanpanji tahun 2019 memiliki kisaran pH 6,43 – 7,39 dengan rata-rata sebesar 6,86. Sedangkan, suhunya berkisar antara 27°C - 32,3°C dengan 29,07°C. Data rekapitulasi hasil pemantauan kualitas air intake IPA Siwalanpanji tahun 2019 dapat dilihat pada lampiran B.

4.2 Pengukuran Parameter

Dalam penelitian ini dilakukan pengambilan dan pengujian 6 parameter yaitu waktu kontak (tc), dosis klor, konsentrasi TOC, absorbansi UV-Vis, pH dan suhu. Parameter tc dan dosis klor merupakan data sekunder yang didapatkan dari PDAM Delta Tirta. Parameter pertama, tc, didapatkan dari titik injeksi gas klor dan waktu detensi (td) setiap unit. Gas klor diinjeksikan pada sumur pengumpul 1, maka perhitungan waktu kontak menggunakan

waktu detensi yang mengacu pada sumur pengumpul 1 sebagai titik awal.

Titik AB merupakan titik pengambilan sampel sebelum sumur pengumpul 1 dimana belum terjadi penambahan gas klor, maka memiliki nilai tc nol. Nilai tc untuk titik SP, BP, UF, dan K dihitung dari akumulasi waktu detensi dari sumur pengumpul 1 hingga titik pengambilan sampelnya. Nilai tc dihitung dalam jam, maka satuannya akan dikonversi menjadi jam. Berikut adalah perhitungannya:

- AB = 0 menit
= 0 jam
- SP = td sumur pengumpul 1
= 5 menit
= 0,0833 jam
- BP = td 2 sumur pengumpul + td prasedimerntasi + td bak pengumpul
= 10 menit + 1 jam + 5 menit
= 1,1667 jam
- UF = td 2 sumur pengumpul + td prasedimerntasi + td bak pengumpul + td UF
= 10 menit + 1 jam + 5 menit + 15 menit
= 1,4167 jam
- K = td 2 sumur pengumpul + td konvensional
= 10 menit + 2 jam
= 2,0833 jam

Parameter kedua adalah dosis klor. Dosis klor yang digunakan dihitung dari data debit air dan banyak gas klor yang digunakan dalam 1 hari. Kedua data tersebut didapat dari buku catatan harian di IPA Siwalanpanji, Tabel 4.1 merupakan data debit dan penggunaan klor dalam 4 hari pengambilan sampel.

Tabel 4. 1 Debit Air dan Penggunaan Klor di IPA Siwalanpanji 9 Maret 2020 – 12 Maret 2020

Tanggal	Debit Air (L/s)	Penggunaan Klor (kg/hari)
9 Maret 2020	111,5	100
10 Maret 2020	109,6	150
11 Maret 2020	111	200

Tanggal	Debit Air (L/s)	Penggunaan Klor (kg/hari)
12 Maret 2020	108,5	200

Sumber: IPA Siwalanpanji

Dosis klor yang digunakan dapat dihitung dari data di Tabel 4.1. Hasil perhitungan didapat dari membagi penggunaan klor dengan debit air olahan. Kemudian, satuannya disesuaikan menjadi mg/L. Berikut adalah contoh perhitungan konsentrasi klor yang digunakan pada 9 Maret 2020:

$$\begin{aligned}
 \text{Dosis klor} &= \frac{\text{Penggunaan Klor } \left(\frac{\text{kg}}{\text{hari}}\right) \times 86400 \left(\frac{\text{det}}{\text{hari}}\right)}{Q \left(\frac{\text{L}}{\text{det}}\right) \times 1000000 \left(\frac{\text{kg}}{\text{mg}}\right)} \\
 &= \frac{100 \left(\frac{\text{kg}}{\text{hari}}\right) \times 86400 \left(\frac{\text{det}}{\text{hari}}\right)}{111,5 \left(\frac{\text{L}}{\text{det}}\right) \times 1000000 \left(\frac{\text{kg}}{\text{mg}}\right)} \\
 &= 0,0775 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

Dosis klor untuk ketiga hari selanjutnya dapat dihitung dengan cara yang sama seperti contoh di atas. Tabel 4.2 memberikan informasi hasil perhitungan konsentrasi dosis klor yang digunakan selama 4 hari pengambilan sampel.

Tabel 4. 2 Dosis Klor yang Digunakan di IPA Siwalanpanji 9 Maret 2020 – 12 Maret 2020

Tanggal	Dosis Klor (mg/L)
9 Maret 2020	0,0775
10 Maret 2020	0,1183
11 Maret 2020	0,1544
12 Maret 2020	0,1557

Parameter ketiga adalah konsentrasi TOC. Data konsentrasi TOC didapat dari konversi konsentrasi COD. Menurut data PDAM Delta Tirta (2019), kisaran konsentrasi COD untuk air baku di IPA Siwalanpanji berada di bawah 90 mg/L. Oleh karena itu, uji COD yang dilakukan dengan metode konsentrasi < 90 mg/L sesuai dengan APHA (2017). Dari hubungan nilai absorbansi dan

konsentrasi COD, nilai regresi yang didapatkan adalah 0,993. Tingkat kesalahan pada grafik di atas sebesar 0,7% dimana toleransi tingkat kesalahan agar data tetap signifikan adalah sebesar 5% atau 1% (David dan Djamaris, 2018).

Rumus yang didapat dari hubungan tersebut adalah $y = -497,53x - 1,3199$ dimana y menyatakan konsentrasi COD (mg/L) dan x menyatakan nilai absorbansinya. Sehingga, konsentrasi COD untuk sampel-sampel yang diambil dapat dihitung dengan rumus tersebut. Hasil pengukuran nilai absorbansi, grafik hubungan nilai absorbansi dan konsentrasi, dan hasil perhitungan konsentrasi COD dapat dilihat pada lampiran C. Selanjutnya, dilakukan konversi COD menjadi TOC dengan mengalikan konsentrasi COD dengan 0,94 (Diego-McGlone *et al.*, 2000). Berikut adalah contoh perhitungannya untuk sampel AB pada hari Senin, 9 Maret 2020:

$$\begin{aligned}\text{Konsentrasi TOC} &= \text{Konsentrasi COD} \times 0,94 \\ &= 25,0439 \text{ mg/L} \times 0,94 \\ &= 23,5413 \text{ mg/L}\end{aligned}$$

Perhitungan di atas dilakukan untuk setiap titik sampling dalam 4 hari untuk mendapat konsentrasi TOC nya. Hasil perhitungannya dapat dilihat pada Tabel 4.3. Data nilai absorbansi, dan hasil perhitungan absorbansi menjadi COD

Tabel 4. 3 Konsentrasi TOC Setiap Sampel

Titik Sampling	Konsentrasi TOC (mg/L)			
	Senin, 9 Maret 2020	Selasa, 10 Maret 2020	Rabu, 11 Maret 2020	Kamis, 12 Maret 2020
AB	23,5413	23,5413	16,9951	23,0737
SP	15,1247	29,1523	16,5275	17,9302
BP	19,3330	19,8006	11,3841	19,3330
UF	18,3978	15,5923	9,0461	17,4627
K	13,7220	14,1896	14,6572	15,1247

Parameter keempat adalah kemampuan sampel dalam mengabsorpsi cahaya ultraviolet-visible. Panjang gelombang yang

digunakan adalah 254 nanometer. Hasil pengujian UV_{254} pada setiap sampel dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4. 4 Nilai UV_{254} Setiap Sampel

Titik Sampling	UV_{254}			
	Senin, 9 Maret 2020	Selasa, 10 Maret 2020	Rabu, 11 Maret 2020	Kamis, 12 Maret 2020
AB	0,069	0,035	0,053	0,073
SP	0,108	0,06	0,067	0,073
BP	0,063	0,044	0,038	0,056
UF	0,052	0,064	0,036	0,033
K	0,075	0,036	0,063	0,036

Parameter selanjutnya adalah pH dan suhu. Pengukuran dilakukan langsung saat pengambilan sampel dengan pH meter dan termometer. Hasil pengujian pH pada setiap sampel dapat dilihat pada Tabel 4.5. Sedangkan, hasil pengujian suhu dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4. 5 Nilai pH Setiap Sampel

Titik Sampling	pH			
	Senin, 9 Maret 2020	Selasa, 10 Maret 2020	Rabu, 11 Maret 2020	Kamis, 12 Maret 2020
AB	7,34	7,61	7,98	7,62
SP	7,13	7,42	7,87	7,45
BP	7,25	7,39	7,96	7,45
UF	7,30	7,44	7,98	7,43
K	7,15	7,40	7,92	7,41

Tabel 4. 6 Suhu Setiap Sampel

Titik Sampling	Suhu (°C)			
	Senin, 9 Maret 2020	Selasa, 10 Maret 2020	Rabu, 11 Maret 2020	Kamis, 12 Maret 2020
AB	32	31,5	31	31
SP	30	31	30	30,5
BP	28,5	30	30	31
UF	29	31	29,5	31
K	28	30	30,5	31

4.3 Prediksi Konsentrasi Total Trihalometana (TTHM) dengan 7 Rumus Empiris

Dalam penentuan rumus potensi pembentukan TTHM, parameter-parameter yang berperan dalam pembentukan THM dijadikan faktor yang diperhitungkan dalam rumusnya. Penelitian ini hanya memfokuskan pada 6 parameter yang ada pada 7 variasi rumus TTHM. Data dari keenam parameter tersebut telah didapat dan diuji. Parameter utama yang ada pada ketujuh rumus yang digunakan adalah dosis klor. Dosis klor dan konsentrasi organik merupakan parameter yang paling penting karena pembentukan THM berasal dari reaksi yang melibatkan zat organik, dengan dosis klorin (Chow, 2006).

Dosis klor dan waktu kontak berhubungan erat satu sama lain. Dosis klor merupakan halogen yang akan bereaksi dalam pembentukan THM. Waktu kontak adalah durasi waktu yang diperlukan klor untuk bereaksi dengan air yang mengandung zat organik. Berdasarkan White (1992), produk sampingan klorinasi terbentuk saat residu klor mengalami kenaikan konsentrasi hingga puncaknya. Lalu, saat residu klor mengalami penurunan, terjadi destruksi sebagian produk sampingan klorinasi. Setelah itu, produk sampingan yang masih tersisa tertinggal di air pengolahan. Proses tersebut menunjukkan pentingnya parameter waktu kontak. Sehingga, dosis klorin dan waktu kontak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap pembentukan dan distribusi produk sampingan desinfeksi.

Menurut Oliver dan Lawrence (1979), peningkatan dosis klor akan meningkatkan pembentukan trihalometana. Beberapa penelitian terdahulu seperti Reckhow dan Singer (1985), Fleischacker dan Randtke (1983), dan Norwood *et al.* (1980) juga telah mengamati hubungan tersebut. Kinetika reaksi pembentukan produk samping desinfeksi dipengaruhi oleh waktu kontak.

Ketika bahan organik alami diklorinasi, konsentrasi produk sampingan desinfeksi meningkat dengan meningkatnya waktu kontak (Özdemir *et al.*, 2014). Oleh karena itu, peningkatan waktu kontak juga dapat menyebabkan meningkatnya konsentrasi TTHM yang dihasilkan. Ketujuh rumus yang dibahas seluruhnya

menggunakan parameter dosis klor dan waktu kontak. Sehingga, setiap rumus yang dibandingkan telah menunjukkan pentingnya faktor waktu kontak.

Konsentrasi organik sebagai salah satu pembentuk THM yang utama. Organik yang merupakan prekursor dalam pembentukan THM adalah *natural organic matter* (NOM). TOC, UV₂₅₄ dan *specific ultraviolet absorbance* (SUVA) adalah parameter pengganti paling penting yang digunakan untuk memprediksi reaktivitas NOM dan pembentukan THM. Dengan kata lain, semakin banyak TOC atau UV₂₅₄, dosis klor dan waktu kontak akan menghasilkan TTHM yang juga meningkat. Sehingga, NOM dapat dinyatakan dengan TOC ataupun UV₂₅₄ (Özdemir dan Güngör, 2018).

Berdasarkan penelitian-penelitian terdahulu oleh Edzwald *et al.* (1985), Albrektiene *et al.* (2012), dan Kim *et al.* (2016), ketiga literatur ini menyatakan hubungan yang erat antara TOC dan UV₂₅₄. Pembacaan UV₂₅₄ dinyatakan dapat digunakan untuk pengganti TOC dengan koefisien perbandingan antara TOC dan UV₂₅₄ sebesar 0,94 (Albrektiene *et al.*, 2012). Juga, menurut Edzwald *et al.* (1985) dan Kim *et al.* (2016), nilai UV₂₅₄ dapat digunakan untuk mengetahui konsentrasi TOC.

Suhu dan pH juga berperan dalam laju pembentukan THM meskipun bukan faktor utama dalam pembentukannya. Menurut Culp dan Wesner (1986), semakin tinggi temperatur dan pH air, maka laju pembentukan THM semakin meningkat. Oleh karena itu, berdasarkan penelitian-penelitian pendahulu, keenam parameter yang diuji berpengaruh kepada konsentrasi TTHM yang dihasilkan. Semakin tingginya keenam parameter tersebut hingga batas tertentu maka, konsentrasi TTHM akan semakin tinggi juga.

Keenam parameter yang telah didapat, diuji, dan dihitung dapat digunakan untuk menghitung konsentrasi TTHM dengan pendekatan rumus empiris. Penelitian ini akan membahas 7 rumus empiris dari penelitian-penelitian terdahulu. Menurut penelitian Chang *et al.* (1996), telah dikembangkan 3 rumus untuk mendapat konsentrasi TTHM dari tc, TOC, dosis klor, dan UV₂₄₅. Berikut adalah 3 rumus yang dikembangkan oleh Chang *et al.* (1996):

1. $C_{TTHM\ 1} = 12,72 TOC^{0,291} tc^{0,271} D^{-0,072}$
2. $C_{TTHM\ 2} = 108,80 TOC^{0,2466} tc^{0,2956} UV_{254}^{0,9919} D^{0,126}$
3. $C_{TTHM\ 3} = 131,75 tc^{0,2931} UV_{254}^{1,075} D^{0,1064}$

Konsentrasi TTHM di setiap titik pengambilan sampel dapat dihitung dengan rumus-rumus di atas. Berikut adalah contoh perhitungan konsentrasi TTHM di titik SP pada 9 Maret 2020:

- TOC = 15,1247 mg/L
- tc = 0,0833 jam
- D = 0,0775 mg/L
- UV_{254} = 0,094
- Perhitungan:

1. Rumus 1:

$$\begin{aligned}
 C_{TTHM\ 1} &= 12,72 TOC^{0,291} tc^{0,271} D^{-0,072} \\
 &= 12,72 (15,1247)^{0,291} (0,0833)^{0,271} \\
 &\quad (0,0775)^{-0,072} \\
 &= 17,2 \mu\text{g/L} \\
 &= 0,0172 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

2. Rumus 2:

$$\begin{aligned}
 C_{TTHM\ 2} &= 108,80 TOC^{0,2466} tc^{0,2956} UV_{254}^{0,9919} D^{0,126} \\
 &= 108,80 (15,1247)^{0,2466} (0,0833)^{0,2956} \\
 &\quad (0,094)^{0,9919} (0,0775)^{0,126} \\
 &= 7,1 \mu\text{g/L} \\
 &= 0,0071 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

3. Rumus 3:

$$\begin{aligned}
 C_{TTHM\ 3} &= 131,75 tc^{0,2931} UV_{254}^{1,075} D^{0,1064} \\
 &= 131,75 (0,0833)^{0,2931} (0,094)^{1,075} \\
 &\quad (0,0775)^{0,1064} \\
 &= 3,8 \mu\text{g/L} \\
 &= 0,0038 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

Cara perhitungan yang sama dilakukan untuk setiap titik sampel dalam 4 hari pengambilan sampel. Hasil perhitungan konsentrasi TTHM dengan ketiga rumus Chang *et al.* (1996) untuk setiap titik sampel dapat dilihat pada Tabel 4.7, 4.8, dan 4.9 secara berurutan dari rumus 1 hingga 3.

Tabel 4. 7 Konsentrasi TTHM dengan Rumus 1

Titik Sampling	C_{TTHM 1} (mg/L)			
	Senin, 9 Maret 2020	Selasa, 10 Maret 2020	Rabu, 11 Maret 2020	Kamis, 12 Maret 2020
AB	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
SP	0,0172	0,0202	0,0168	0,0172
BP	0,0378	0,0369	0,0308	0,0359
UF	0,0392	0,0363	0,0304	0,0367
K	0,0400	0,0392	0,0388	0,0391

Tabel 4. 8 Konsentrasi TTHM dengan Rumus 2

Titik Sampling	C_{TTHM 2} (mg/L)			
	Senin, 9 Maret 2020	Selasa, 10 Maret 2020	Rabu, 11 Maret 2020	Kamis, 12 Maret 2020
AB	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
SP	0,0071	0,0055	0,0052	0,0039
BP	0,0103	0,0106	0,0099	0,0139
UF	0,0092	0,0076	0,0069	0,0071
K	0,0145	0,0082	0,0115	0,0064

Tabel 4. 9 Konsentrasi TTHM dengan Rumus 3

Titik Sampling	C_{TTHM 3} (mg/L)			
	Senin, 9 Maret 2020	Selasa, 10 Maret 2020	Rabu, 11 Maret 2020	Kamis, 12 Maret 2020
AB	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
SP	0,0038	0,0024	0,0026	0,0019
BP	0,0050	0,0050	0,0054	0,0068
UF	0,0044	0,0038	0,0039	0,0034
K	0,0078	0,0041	0,0058	0,0031

Rumus 1 hingga 3 dari penelitian Chang *et al.* (1996) dimodelkan berdasarkan sampel yang diambil dari instalasi pengolahan air di Pen-Hsing. Klorinasi dilakukan dengan natrium hipoklorit. Dosis klor yang digunakan pada IPA tersebut berkisar 3,5 mg Cl₂/L hingga 5 mg Cl₂/L. Penelitian dilakukan dengan variasi waktu kontak 0,5, 1, 2, 4, 8, 24, 48, 72, 89, 120, 144, dan 168 jam setelah dilakukan klorinasi. Semakin meningkat waktu kontak tersebut, maka THM yang dihasilkan juga semakin besar. Kemudian, berdasarkan hasil penelitiannya, kenaikan dosis klor tidak menunjukkan pengaruh yang sama terhadap konsentrasi THM. Sebagian data menunjukkan peningkatan dosis klor

mempengaruhi peningkatan konsentrasi TTHM. Namun, sebagian data menunjukkan hasil TTHM yang fluktuatif dengan meningkatnya dosis klor. Sehingga, pengaruh dosis klor tidak terlalu signifikan dibandingkan waktu kontak.

Kemudian, TOC dan UV_{254} diteliti semakin menurun jika waktu kontak semakin meningkat. Ketiga rumus yang dimodelkan memiliki variasi pada parameter organiknya. Rumus 1 hanya menggunakan TOC, rumus 2 menggunakan TOC dan UV_{254} , dan rumus 3 hanya menggunakan UV_{254} sebagai parameter organiknya. Rumus yang memiliki tingkat kepercayaan tertinggi adalah rumus 2 dimana kedua parameter TOC dan UV_{254} digunakan untuk menyatakan NOM dengan koefisien sebesar 0,9692. Namun, rumus 1 dan rumus 3 juga memiliki tingkat kepercayaan yang cukup tinggi yaitu, 0,9448 untuk rumus 1 dan 0,9546 untuk rumus 3. Kandungan organik pada air olahan di Pen-Hsing lebih rendah dari Siwalanpanji. Konsentrasi TOC nya berkisar 0,61-1,24 mg/L (kisaran Siwalanpanji: 9,046-29,152 mg/L). Sedangkan, nilai UV_{254} nya memiliki kisaran lebih tinggi dari sampel Siwalanpanji (kisaran Siwalanpanji: 0,030-0,094) yaitu 0,087-0,110.

Suhu dan pH dikontrol pada penelitiannya agar konstan. Suhu dalam penelitiannya adalah 20 ± 2 °C. Sedangkan, pH dikontrol dengan buffer agar berkisar 7. Dalam penelitian di IPA Siwalanpanji ini, hasil uji pH memiliki kisaran sedikit lebih tinggi yaitu 7,13 - 7,98. Hasil uji suhu berkisar antara 28 °C hingga 32 °C sehingga hasil dari perhitungan TTHM yang didapat sudah tidak seakurat tingkat kepercayaan dari penelitian Chang *et al.* (1996). Menurut Culp dan Wesner (1986), suhu dan pH yang semakin tinggi akan meningkatkan laju pembentukan TTHM. Oleh karena itu, hasil perhitungan konsentrasi TTHM dengan rumus 1 hingga 3 seharusnya mendapat hasil yang lebih tinggi akibat suhu di Siwalanpanji yang lebih tinggi dari penelitian Chang *et al.* (1996).

Rumus keempat merupakan hasil penelitian dari Boyalla (2004). Parameter yang diperhitungkan dalam rumusnya adalah dosis klor, pH, TOC, dan tc. Berikut adalah rumus konsentrasi TTHM yang dikembangkanya dan contoh perhitungan konsentrasi TTHM di titik SP pada 9 Maret 2020:

- $C_{TTHM\ 4} = 0,0001 D^{3,14} pH^{1,56} TOC^{0,69} t_c^{0,175}$
- $D = 0,0775 \text{ mg/L}$
- $pH = 7,13$
- $TOC = 15,1247 \text{ mg/L}$
- $t_c = 0,0833 \text{ jam}$
- Perhitungan:
 $C_{TTHM\ 4} = 0,0001 (0,0775)^{3,1} (7,13)^{1,56} (15,1247)^{0,69} (0,0833)^{0,175}$
 $= 0,0000 \text{ } \mu\text{g/L}$
 $= 0,0000 \text{ mg/L}$

Hasil perhitungan konsentrasi TTHM dengan rumus Boyalla (2004) untuk setiap titik sampel dapat dilihat pada Tabel 4.10,

Tabel 4. 10 Konsentrasi TTHM dengan Rumus 4

Titik Sampling	$C_{TTHM\ 4} \text{ (mg/L)}$			
	Senin, 9 Maret 2020	Selasa, 10 Maret 2020	Rabu, 11 Maret 2020	Kamis, 12 Maret 2020
AB	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
SP	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
BP	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
UF	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
K	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Rumus 4 (Boyalla, 2004) menganalisa air baku dan air keran dari beberapa lokasi di komunitas Newfoundland. Lokasi pengambilan sampel ada 7 yaitu. Keels, Clarendville, Ferryland, Bonavista, Burin, St. John-1, dan St. John-2. Parameter yang digunakan adalah dosis klor dan TOC sebagai NOM sesuai reaksi pembentukan. Klorinasi dilakukan dengan natrium hipoklorit. Konsentrasi TOC pada sampel di Newfoundland memiliki konsentrasi yang lebih rendah dari Siwalanpanji, yaitu 2,32 - 12,41 mg/L THM. Lalu, waktu kontak diperhitungkan dalam rumus ini yang menunjukkan peningkatan jika semakin lama durasinya. Variasi waktu kontak yang digunakan adalah 3, 7, 24, 48, dan 120 jam.

Tidak seperti rumus 1-3, rumus ini memperhitungkan faktor pH sehingga perubahan pH dapat diperhitungkan dalam pembentukan TTHM. Akan tetapi, rumus ini tidak

memperhitungkan perubahan suhu. Suhu dipertahankan pada $23 \pm 1^\circ\text{C}$. Penelitian pada Siwalanpanji memiliki suhu berkisar 28°C hingga 32°C tanpa kontrol suhu. Rumus ini memiliki nilai *r square* sebesar 0,7685.

Hasil perhitungan konsentrasi TTHM dengan rumus ini di setiap titik sampel mendapat hasil yang sangat kecil dan tidak signifikan. Konsentrasi yang didapat konstan bernilai 0,000 mg/L. Hal tersebut dapat disebabkan oleh waktu kontak penelitian Siwalanpanji yang berkisar antara 0,0833 hingga 2,0833 jam. Variasi waktu kontak lebih kecil dari waktu kontak minimum yang digunakan sebagai variasi dalam penelitian di *Newfoundland* yaitu 3 jam. Juga, adanya faktor suhu yang lebih tinggi di Siwalanpanji yang menyebabkan konsentrasi TTHM secara teori seharusnya lebih besar dari hasil perhitungannya.

Rumus kelima merupakan rumus empiris dari penelitian Rathbun (1996). Parameter yang diperhitungkan adalah pH, dosis klor, UV_{254} dan t_c . Berikut adalah rumus konsentrasi TTHM yang dikembangkannya dan contoh perhitungan konsentrasi TTHM di titik SP pada 9 Maret 2020:

- $C_{TTHM\ 5} = 14,6(pH - 3,8)^{1,01} D^{0,206} UV_{254}^{0,849} t_c^{0,306}$
- pH = 7,13
- D = 0,0775 mg/L
- UV_{254} = 0,094
- t_c = 0,0833
- Perhitungan:

$$C_{TTHM\ 5} = 14,6(7,13 - 3,8)^{1,01} (0,0775)^{0,206} (0,094)^{0,849} (0,0833)^{0,306}$$

$$= 1,9\ \mu\text{g/L}$$

$$= 0,0019\ \text{mg/L}$$

Perhitungan dilakukan untuk setiap titik sampel dalam 4 hari pengambilan sampel. Perhitungan dilakukan dengan cara yang sama dengan contoh di atas. Hasil perhitungan konsentrasi TTHM dengan rumus Rathbun (1996) untuk setiap titik sampel dapat dilihat pada Tabel 4.11.

Tabel 4. 11 Konsentrasi TTHM dengan Rumus 5

Titik Sampling	$C_{TTHM\ 5}$ (mg/L)			
	Senin, 9 Maret 2020	Selasa, 10 Maret 2020	Rabu, 11 Maret 2020	Kamis, 12 Maret 2020
AB	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
SP	0,0019	0,0015	0,0018	0,0012
BP	0,0029	0,0031	0,0040	0,0042
UF	0,0027	0,0026	0,0031	0,0024
K	0,0043	0,0028	0,0044	0,0023

Rumus 5 (Rathbun *et al.*, 1996) mendapatkan sampel dari 12 lokasi di sungai Mississippi dari New Orleans, LA ke Minneapolis, MN dan di Sungai Missouri dan Ohio 1,6 km di hulu dari pertemuan mereka dengan Mississippi. Penelitiannya merupakan salah satu penelitian yang tidak membahas pembentukan THM di maupun dari instalasi pengolahan air. Penelitiannya memfokuskan pada pembentukan THM di sungai untuk mengetahui kualitas air sungai daerah tersebut. Kondisi yang berbeda dengan penelitian tugas akhir ini dapat menyebabkan hasil perhitungan yang tidak akurat.

Parameter yang digunakan dalam pembentukan rumus ini sama dengan rumus 4 yaitu pH, konsentrasi klor, tc, dan organik. Namun, konsentrasi NOM dinyatakan dengan UV_{254} . Lokasi pengambilan sampel luas dan menyebabkan variasi pH yang lebih besar dari Siwalanpanji maupun lokasi penelitian-penelitian lainnya. Kisaran pH pada penelitian ini cukup luas dibandingkan lokasi penelitian lainnya yaitu, 5,5 – 10. Hasil pengukuran TTHM menunjukkan konsentrasi yang meningkat dengan peningkatan pH. Konsentrasi klor bebas awal pada penelitian tersebut jauh lebih tinggi dari Siwalanpanji yaitu 15, 30, dan 50 mg/L. Semakin jauh jarak dari titik awal, maka konsentrasi klor dan organik semakin menurun.

Waktu kontak yang digunakan adalah 2, 6, 12, 24, 48, 72, dan 120 jam. Semakin tinggi waktu kontak, maka semakin tinggi juga konsentrasi TTHM. Berdasarkan rumus ini UV_{254} dan pH merupakan variabel terpenting terhadap pembentukan TTHM. Kemudian, suhu dipertahankan pada 25 °C. Pada uji sampel dari Siwalanpanji, suhu sampel berkisar antar 29 °C hingga 32 °C, maka

konsentrasi TTHM di Siwalanpanji seharusnya lebih tinggi dari hasil perhitungannya. Nilai r^2 pada rumus ini adalah 0,981.

Rumus keenam dan ketujuh adalah hasil penelitian dari Serodes *et al.* (2003). Parameter yang menjadi dasar permodelannya adalah TOC, dosis klor, suhu dan tc. Berikut adalah rumus konsentrasi TTHM yang dikembangkannya dan contoh perhitungan konsentrasi TTHM di titik SP pada 9 Maret 2020:

- $C_{TTHM\ 6} = 16,9 + 16,0TOC + 3,319D - 1,135T + 1,139\ tc$
 - $C_{TTHM\ 7} = 1,33 + 2,612TOC + 0,102D + 0,255T + 0,102\ tc$
 - TOC = 15,1247 mg/L
 - D = 0,0775 mg/L
 - T = 30°C
 - tc = 0,0833
 - Perhitungan:
- $$C_{TTHM\ 6} = 16,9 + 16,0(15,1247) + 3,319(0,0775) - 1,135(30) + 1,139(0,0833)$$
- $$= 225,2\ \mu\text{g/L}$$
- $$= 0,2252\ \text{mg/L}$$
- $$C_{TTHM\ 7} = 1,33 + 2,612(15,1247) + 0,102(0,0775) - 0,255(30) + 0,102(0,0833)$$
- $$= 33,2\ \mu\text{g/L}$$
- $$= 0,0332\ \text{mg/L}$$

Hasil perhitungan konsentrasi TTHM dengan rumus Serodes *et al.* (2003) dapat dilihat pada Tabel 4.12 dan 4.13.

Tabel 4. 12 Konsentrasi TTHM dengan Rumus 6

Titik Sampling	$C_{TTHM\ 6}$ (mg/L)			
	Senin, 9 Maret 2020	Selasa, 10 Maret 2020	Rabu, 11 Maret 2020	Kamis, 12 Maret 2020
AB	0,3572	0,3578	0,2536	0,3509
SP	0,2252	0,4486	0,2479	0,2698
BP	0,2955	0,3014	0,1668	0,2929
UF	0,2802	0,2332	0,1303	0,2632
K	0,2073	0,2126	0,2197	0,2266

Tabel 4. 13 Konsentrasi TTHM dengan Rumus 7

Titik Sampling	C_{TTHM 7} (mg/L)			
	Senin, 9 Maret 2020	Selasa, 10 Maret 2020	Rabu, 11 Maret 2020	Kamis, 12 Maret 2020
AB	0,0547	0,0548	0,0378	0,0537
SP	0,0332	0,0696	0,0369	0,0404
BP	0,0447	0,0455	0,0235	0,0441
UF	0,0421	0,0343	0,0176	0,0392
K	0,0303	0,0310	0,0321	0,0332

Rumus 6 dan 7 (Serodes *et al.*, 2003) mendapatkan sampel dari 3 utilitas utama di Kota Quebec, yaitu Charlesbourg, Quebec City, dan Sainte Foy. Parameter yang digunakan pada rumus ini adalah dosis klor, tc, TOC, dan suhu. Parameter pH tidak diperhitungkan pada rumus ini. Namun, pH sampel yang diambil memiliki kisaran 6 – 7,7, dimana penelitian Siwalanpanji memiliki kisaran 7,15 - 7,98. Sebagian besar data pH pada penelitian di Siwalanpanji masuk dalam kisaran pH pada penelitian Serodes *et al.* (2003).

Jenis klor yang digunakan sama dengan IPA Siwalanpanji yaitu gas klor. Kenaikan dosis klor menunjukkan pengaruh pada pembentukan TTHM dan pengaruh menjadi lebih besar jika suhu lebih tinggi. Variasi suhu besar pada penelitian tersebut karena mencakup sampel dalam 4 musim (8 - 20 °C). Sehingga, peran suhu dapat lebih jelas dilihat pada penelitian tersebut. Namun, TOC dan waktu kontak memiliki signifikansi tertinggi dibanding semua parameter yang diuji. Konsentrasi TOC relatif kecil dibandingkan Siwalanpanji, dengan kisaran 1,5 – 2,6 mg/L. Variasi waktu kontak yang digunakan adalah 1, 2, 6, 24, dan 48 jam. Rumus 6 memiliki nilai *r square* 0,78 dan rumus 7 memiliki nilai *r square* sebesar 0,8.

Ketujuh rumus tersebut dapat dibandingkan untuk mengetahui rumus yang paling sesuai dengan lokasi penelitian ini yaitu di IPA Siwalanpanji. Pemilihan rumus dapat dilakukan dengan melihat kesesuaian kondisi penelitian ketujuh rumus dengan penelitian ini. Perbandingan rumus dilakukan dengan beberapa faktor yang berbeda-beda pada masing-masing rumus tersebut. Faktor pembandingnya antara lain adalah jenis klor yang

digunakan, lokasi penelitian, pH, suhu, dan *r square*. Dari keenam parameter uji, hanya pH dan suhu yang diperhitungkan dalam ranking karena parameter lainnya sudah selalu ada di ketujuh rumus (dosis klor, waktu kontak, dan organik). Sedangkan parameter pH dan suhu hanya ada pada beberapa rumus.

Penentuan rumus yang paling sesuai dilakukan dengan metode ranking (Malczewski, 1999). Kelima faktor atau parameter yang dijadikan pertimbangan dalam pemilihan rumus ini diurutkan berdasarkan tingkat kepentingannya. Dari kelima faktor tersebut *r square* diurutkan sebagai peringkat pertama karena merupakan faktor terpenting yang menunjukkan besarnya hubungan antara rumus dan hasil perhitungan yang didapat.

Kemudian, lokasi merupakan faktor dengan peringkat kedua. Ketujuh rumus yang dibahas memiliki lokasi yang berbeda-beda. Perbedaan lokasi dapat mempengaruhi pembentukan TTHM karena air yang diuji melewati proses yang berbeda-beda. Sehingga, konsentrasi TTHM dapat berkurang atau bertambah akibat proses yang dilalui. Sebagai contoh, lokasi penelitian ini dilakukan di instalasi pengolahan air. Namun, rumus 5 memiliki lokasi penelitian di sungai. Sehingga, TTHM yang terbentuk di instalasi dan TTHM yang terbentuk di sungai akan berbeda. Oleh karena itu, faktor lokasi penelitian merupakan faktor yang penting.

Faktor yang menjadi peringkat ketiga adalah jenis klor. Dalam mempertimbangkan pembentukan TTHM di instalasi pengolahan air, terdapat 3 jenis klor yang digunakan (gas, padat, dan cair). Di IPA Siwalanpanji, jenis klorinasi yang digunakan adalah dalam bentuk gas. Sedangkan, pada ketujuh rumus tersebut tidak semua menggunakan jenis klor yang sama. Klor merupakan salah satu parameter penting dalam pembentukan TTHM karena merupakan halogen pembentuknya. Sehingga, jenis klor yang digunakan dapat mempengaruhi kemurniannya dan mempengaruhi hasil pembentukann TTHMnya.

Faktor selanjutnya adalah pH dan suhu. Faktor suhu adalah peringkat keempat pada metode ranking ini. Faktor suhu menjadi lebih penting dari faktor pH karena dilihat dari ketujuh penelitian, suhunya bervariasi cukup besar dari 8°C hingga 25°C. Sedangkan,

suhu pada IPA Siwalanpanji berkisar antar 28,5 °C hingga 32 °C. Oleh karena itu, parameter suhu juga dibutuhkan untuk diperhitungkan dalam rumus. Faktor terakhir adalah pH yang masuk dalam peringkat lima. pH juga merupakan faktor yang mempengaruhi pembentukan TTHM. Namun, pH dalam ketujuh penelitian dan pH pada peneitian di Siwalanpanji relatif stabil berkisar 7 hingga 8. Sehingga, faktor suhu masih berada di atas ranking pH. Berdasarkan kelima ranking tersebut, maka dapat dihitung bobot setiap faktor dengan rumus berikut:

$$w_j = (n - r_j + 1) / \sum (n - r_p + 1)$$

Berikut adalah contoh perhitungan bobot untuk faktor *r square* yang merupakan ranking pertama.

- $n = 5$
- $r_1 = 1$
- $w_1 = (5-1+1) / ((5-1+1)+(5-2+1)+ (5-3+1)+ (5-4+1)+ (5-5+ 1))$
 $w_1 = 5/(5+4+3+2+1)$
 $= 5/15$
 $= 0,3333$

Selanjutnya, dengan rumus yang sama, dihitung bobot untuk ranking 2 hingga 5. Hasil perhitungan bobot dapat dilihat pada Tabel 4.14.

Tabel 4. 14 Hasil Perhitungan Bobot Setiap Faktor

Faktor	Ranking	Bobot
R ²	1	0,3333
Lokasi	2	0,2667
Jenis Klor	3	0,2000
Suhu	4	0,1333
pH	5	0,0667

Setelah didapat bobot setiap faktor, maka dilakukan perhitungan korelasi rumus dengan kesesuaian kondisi di IPA Siwalanpanji. Setiap faktor diberi nilai kesesuaian dari 0 (tidak sesuai) hingga 1 (sesuai) dan dikalikan dengan bobot setiap faktornya. Nilai *r square* didapat langsung dari literatur penelitian

masing-masing rumus. Sedangkan, untuk faktor lainnya diberi penilaian berdasarkan kesesuaian.

Faktor lokasi dinilai 1 jika lokasi penelitian dalam masing-masing rumus sama dengan penelitian ini yaitu instalasi pengolahan air. Sedangkan, faktor ini dinilai 0 jika lokasi tidak di instalasi pengolahan air. Faktor jenis klor dinilai 1 jika menggunakan gas klor, dan dinilai 0 jika menggunakan jenis klor selain gas. Faktor suhu akan dinilai 1 jika rumusnya memiliki parameter suhu, dan dinilai 0 jika rumus tidak memiliki parameter suhu. Sama halnya dengan faktor suhu, faktor pH akan dinilai 1 jika memiliki parameter pH dalam rumusnya, dan dinilai 0 jika tidak memiliki parameter pH. Tabel 4.15 merupakan hasil penilaian untuk masing-masing faktor setiap rumus.

Tabel 4. 15 Penilaian Kesesuaian Kelima Faktor Setiap Rumus

Rumus	R ²	Lokasi (L)	Jenis Klor (JK)	Suhu (S)	pH
1	0,9448	1	0	0	0
2	0,9692	1	0	0	0
3	0,9546	1	0	0	0
4	0,7685	0	0	0	1
5	0,981	0	0	0	1
6	0,78	1	1	1	0
7	0,8	1	1	1	0

Selanjutnya, hasil penilaian masing-masing faktor dikalikan dengan nilai bobot yang sudah dihitung. Sehingga, hasil perhitungan nilai dengan bobot akan menghasilkan nilai korelasi rumus dengan kondisi di IPA Siwalanpanji. Nilai yang didapat akan berkisar dari 0 hingga 1 dimana yang paling mendekati satu adalah rumus yang paling sesuai. Berikut adalah contoh perhitungan untuk k (korelasi) rumus 1:

$$\begin{aligned}
 K &= 0,3333(R^2)+0,2667(L)+0,2(JK)+0,1333(S) \\
 &\quad +0,0667(pH) \\
 &= 0,3333(0,9488)+0,2667(1)+0,2(0)+0,1333(0)
 \end{aligned}$$

$$+0,0667(0)$$

$$= 0,5813$$

Dilakukan perhitungan dengan rumus dan cara yang sama untuk mendapat nilai kesesuaian masing-masing rumus terhadap penelitian ini. Tabel 4.16 merupakan hasil perhitungan ketujuh rumus. Pada tabel tersebut juga sudah diurutkan berdasarkan ranking 1 hingga 7 dimana 1 merupakan rumus paling sesuai, dan 7 merupakan rumus yang paling tidak sesuai.

Tabel 4. 16 Nilai dan Ranking Kesesuaian Setiap Rumus

Rumus	Nilai Kesesuaian	Ranking Kesesuaian
1	0,5813	5
2	0,5894	3
3	0,5846	4
4	0,3226	7
5	0,3934	6
6	0,8597	2
7	0,8664	1

Berdasarkan tabel di atas, rumus yang paling sesuai adalah rumus dari Serodes *et al.* (2003) yaitu rumus 7 dan 6. Lalu, 3 rumus dari penelitian Chang *et al.* (1996) yaitu rumus 2, 3, dan 1 secara berurutan. Selanjutnya, urutan ke 6 adalah dari penelitian Rathbun (1996) yaitu rumus 5. Lalu, rumus terakhir yang paling tidak sesuai dengan kondisi adalah rumus 4 dari penelitian Boyalla (2004).

4.4 Perbandingan Kemampuan 2 Instalasi di IPA Siwalanpanji dalam Meminimalisasi Kandungan TTHM

IPA Siwalanpanji mempunyai 2 jenis instalasi pengolahan yaitu konvensional dan ultrafiltrasi. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perbandingan kemampuan kedua pengolahan tersebut. Pengolahan konvensional terdiri dari koagulasi, flokulasi, sedimentasi, dan filtrasi. Sedangkan, pengolahan ultrafiltrasi hanya terdiri dari ultrafiltrasi itu sendiri.

Berdasarkan pembahasan sebelumnya, rumus yang paling sesuai dengan kondisi lokasi penelitian ini adalah rumus 7. Oleh karena itu, perhitungan kemampuan instalasi dalam meminimalisasi TTHM dihitung berdasarkan hasil perhitungan konsentrasi TTHM dengan rumus 7. Dalam penelitian ini, pengambilan sampel sudah dilakukan pada titik inlet dan outlet kedua instalasi untuk melihat kemampuan instalasi dalam meminimalisasi TTHM.

Berdasarkan sistem aliran instalasinya, titik inlet konvensional adalah sumur pengumpul 2 atau titik SP, dan outletnya adalah outlet dari filter konvensional atau titik K. Titik inlet ultrafiltrasi adalah bak pengumpul atau titik BP dan outletnya adalah keran outlet ultrafiltrasi atau titik UF. Berikut adalah contoh perhitungan kemampuan meminimalisasi TTHM pada kedua instalasi pada pengambilan sampel tanggal 9 Maret 2020:

- Konsentrasi TTHM

- Titik SP = 0,0332 mg/L
- Titik K = 0,0303 mg/L
- Titik BP = 0,0447 mg/L
- Titik UF = 0,0421 mg/L

- Persen removal TTHM oleh instalasi konvensional
% removal TTHM

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\text{Konsentrasi THM inlet unit} - \text{Konsentrasi THM outlet unit}}{\text{Konsentrasi THM inlet unit}} \times 100\% \\
 &= \frac{\text{TTHM di titik SP} - \text{TTHM di titik K}}{\text{TTHM di titik SP}} \times 100\% \\
 &= \frac{0,0332 \frac{\text{mg}}{\text{L}} - 0,0303 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}{0,0332 \frac{\text{mg}}{\text{L}}} \times 100\% \\
 &= 8,8849\%
 \end{aligned}$$

- Persen removal TTHM oleh instalasi UF
% removal TTHM

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\text{Konsentrasi THM inlet unit} - \text{Konsentrasi THM outlet unit}}{\text{Konsentrasi THM inlet unit}} \times 100\% \\
 &= \frac{\text{TTHM di titik BP} - \text{TTHM di titik UF}}{\text{TTHM di titik BP}} \times 100\%
 \end{aligned}$$

$$= \frac{0,0447 \frac{mg}{L} - 0,0421 \frac{mg}{L}}{0,0447 \frac{mg}{L}} \times 100\%$$

$$= 5,6944\%$$

Data kemampuan minimalisasi TTHM oleh kedua instalasi di IPA Siwalanpanji di setiap hari pengambilan sampel dapat dihitung dengan cara yang sama seperti contoh di atas dengan ketujuh rumus. Hasil perhitungan persen kemampuan kedua jenis instalasi dalam 4 hari dapat dilihat pada Tabel 4.17.

Tabel 4. 17 Persen Kemampuan Kedua Jenis Instalasi IPA Siwalanpanji dalam Meminimalisasi TTHM (Rumus 7)

Tanggal Sampling	% Removal TTHM (Rumus 7)	
	Konvensional	Ultrafiltrasi
9 Maret 2020	8,8849	5,6944
10 Maret 2020	55,5006	24,6462
11 Maret 2020	13,0412	25,2810
12 Maret 2020	17,9445	11,0306

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, kedua instalasi dapat dilihat mampu meminimalisasi konsentrasi TTHM yang masuk ke pengolahan dan menghasilkan outlet dengan konsentrasi lebih kecil dari inletnya. Pada tanggal 9, 10, dan 12 Maret 2020, kemampuan pengolahan konvensional (8,8849; 55,5006 dan 17,9445%) lebih baik dari pengolahan ultrafiltrasi (5,6944; 24,6462 dan 25,2810%). Sebaliknya, pada tanggal 11 Maret 2020, kemampuan pengolahan ultrafiltrasi (25,2810%) lebih baik dari pengolahan konvensional (13,0412%).

3 dari 4 hari uji sampel, konvensional dinyatakan memiliki kemampuan lebih baik dari pengolahan ultrafiltrasi. Berdasarkan rata-rata kemampuan dalam 4 hari, pengolahan konvensional memiliki rata-rata 23,8428% dan pengolahan ultrafiltrasi 16,6630%. Sehingga, berdasarkan data tersebut, kedua instalasi dinyatakan mampu meminimalisasi konsentrasi TTHM, tetapi pengolahan konvensional memiliki kemampuan yang lebih baik.

Berdasarkan teorinya, organik merupakan pembentuk TTHM, maka organik merupakan parameter yang dapat menjadi prekursor dalam proses pembentukan TTHM. Sehingga, kemampuan pengolahan dalam meminimalisasi TTHM dapat dilihat dari kemampuan instalasi dalam meminimalisasi parameter pembentuk TTHM. Dalam penelitian ini, parameter yang dipertimbangkan dapat mempengaruhi laju pembentukan TTHM adalah pH, suhu, tc, NOM, dan dosis klor. Parameter pembentuk yang dapat diketahui *removal*nya dari penelitian terdahulu adalah parameter NOM. Parameter NOM dinyatakan dengan COD yang dikonversi menjadi TOC pada penelitian ini.

Kemampuan kedua instalasi IPA Siwalanpanji dalam meminimalisasi COD juga dapat dihitung dengan rumus *removal* yang sama dengan perhitungan TTHM. Removal COD dihitung dari 4 hari pengambilan data. Hasil perhitungannya dapat dilihat pada Tabel 4.18.

Tabel 4. 18 Persen Kemampuan Kedua Jenis Instalasi IPA Siwalanpanji dalam Meminimalisasi COD

Tanggal Sampling	% Removal COD	
	Konvensional	Ultrafiltrasi
9 Maret 2020	9,2746	4,8372
10 Maret 2020	51,3260	21,2532
11 Maret 2020	11,3165	20.5368
12 Maret 2020	15,6468	9,6743

Berdasarkan tabel di atas, pada tanggal 9, 10, dan 12 Maret 2020, kemampuan pengolahan konvensional (9,2746; 51,3260 dan 15,6468%) lebih baik dari pengolahan ultrafiltrasi (4,8372; 21,2532 dan 9,6743%). Sebaliknya, pada tanggal 11 Maret 2020, kemampuan pengolahan ultrafiltrasi (20,5368%) lebih baik dari pengolahan konvensional (11,3165%). Hasilnya menunjukkan bahwa pengolahan konvensional di IPA Siwalanpanji juga memiliki kemampuan lebih baik dibandingkan ultrafiltrasi dalam meminimalisasi COD. Sehingga, berdasarkan teori prekursor, COD terbukti menjadi salah satu faktor terpenting dalam pembentukan TTHM.

Dari penelitian Rahimah *et al.* (2016), koagulasi-flokulasi-sedimentasi dengan polyaluminium chloride (PAC) memiliki kemampuan mereduksi COD sebesar 78,57%. Pada penelitian Hamoda *et al.* (2004), kemampuan rapid sand filter dalam meminimalisasi COD adalah 38%. Sehingga, total removal sebesar 86,71%. Sedangkan, menurut Abdessemed *et al.* (1999), kemampuan UF dalam mereduksi COD adalah sebesar 97%. Oleh karena itu, berdasarkan teori dan melihat dari salah satu parameter pembentuk TTHM, ultrafiltrasi memiliki kemampuan yang lebih baik dalam *removal* TTHM dibandingkan pengolahan konvensional.

Namun, berbeda dengan penelitian-penelitian terdahulu, kemampuan pengolahan konvensional di IPA Siwalanpanji justru memiliki kemampuan yang lebih baik. Hal ini dapat disebabkan oleh perbedaan jenis unit ultrafiltrasi yang berbeda. Juga, hal ini dapat disebabkan oleh operasional dan pemeliharaan unit. Lalu, adanya keterbatasan data yang kurang representatif. Sehingga, kemampuan instalasi di setiap lokasi tidak dapat digeneralisasi.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil uji dan pembahasan pada bab sebelumnya, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan perbandingan ketujuh rumus empiris dari penelitian-penelitian terdahulu, rumus-rumus dinilai dengan 5 faktor pembanding. Rumus yang memiliki nilai kesesuaian tertinggi adalah rumus 7. Rumus 7 memiliki nilai kesesuaian dengan kondisi IPA Siwalanpanji sebesar 0,8664 dimana nilai yang paling mendekati 1 adalah yang paling sesuai.
2. Berdasarkan sebagian besar data perhitungan *removal*, pengolahan kedua jenis instalasi dapat dibandingkan. Hasil perhitungan pengolahan ultrafiltrasi dari 4 data perhitungan semuanya bernilai positif dengan rata-rata 16,6630%. Hasil perhitungan pengolahan konvensional semua data juga bernilai positif dengan rata-rata 23,8428%. Lalu, 3 dari 4 menunjukkan persen yang lebih tinggi pada pengolahan konvensional. Sehingga, pengolahan ultrafiltrasi dan konvensional terbukti dapat meminimalisasi TTHM dalam pengolahannya, Namun, pada IPA Siwalanpanji, pengolahan konvensional memiliki kemampuan yang lebih baik daripada pengolahan ultrafiltrasi dalam meminimalisasi konsentrasi TTHM.

5.2 Saran

Pada penelitian ini, masih terdapat beberapa hal perlu diperhatikan dan diperbaiki untuk penelitian serupa maupun lanjutan. Berikut adalah beberapa saran agar mendapatkan hasil yang lebih baik:

1. Penelitian ini menggunakan uji COD untuk menggantikan uji TOC. Konsentrasi COD yang didapat

kemudian dikonversikan menjadi TOC dengan rumus empiris penelitian terdahulu. Namun, hasil konversi tidak seakurat dari pengujian langsung TOC. Sehingga, penelitian akan lebih baik jika konsentrasi TOC didapat dari pengujian langsung tanpa konversi.

2. Beberapa data waktu detensi tidak lengkap pada instalasi, sehingga beberapa waktu detensi masih menggunakan waktu tipikal. Diperlukan waktu detensi yang sesuai dengan kondisi aslinya untuk mendapat waktu kontak yang lebih akurat.
3. Diperlukan uji konfirmasi konsentrasi TTHM pada sampel untuk memastikan rumus empiris yang paling mendekati atau sesuai pada kondisi di lokasi penelitian.
4. Bahaya THM dapat diatasi dengan melakukan pengolahan prekursoranya yaitu *natural organic matter* (NOM). NOM dapat diolah dengan preoksidasi, aerasi, adsorpsi, atau koagulasi yang dipertinggi yang dilakukan sebelum desinfeksi. Sebelum terjadi reaksi pembentukan THM, prekursor pembentuk THM sudah diolah terlebih dahulu yang menyebabkan tercegahnya pembentukan THM. Sehingga, diperlukan penelitian mengenai kemampuan proses preoksidasi, aerasi, adsorpsi, atau koagulasi yang dipertinggi dalam meminimalisasi pembentukan THM.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Layla. 1978. *Water Supply Engineering Design*. Ann Arbor Science Publisher Inc. Michigan.
- Al-Omari, A., M. Fayyad, and A.A. Qader, 2004. Modeling trihalomethane formation for Jabal Amman water supply in Jordan. *Environ. Model Assess.* 9: 245–252
- Albrektiene, R., M. Rimeika, E. Zalieckiene, V. Saulys, dan A. Zagorskis. 2012. Determination of Organic Matter by UV Absorption in The Ground Water. *Vilnius Gediminas Technical University (VGTU) Press Technika*.
- Amy, G.L., M. Siddiqui, K. Ozekin, H.W. Zhu, and C. Wang, 1998. Empirical based models for predicting chlorination and ozonation byproducts: Haloacetic acids, chloral hydrate, and bromate., *USEPA report CX 819579*. Cincinnati,
- APHA, AWWA, WPCF. 2017. *Standard methods for examination of water and wastewater*. 23rd.ed., APHA, AWWA, WPCF. Washington DC.
- Babaei, A.A., L. Atari, M. Ahmadi, K. Ahmadiangali, M. Zamanzadeh, dan N. Alavi. 2015. Trihalomethanes formation in Iranian water supply systems: predicting and modeling. *Journal of Water and Health* 859-869.
- Boyalla, R.B. 2004. *Formation and modeling of disinfect ion byproducts in Newfoundland communities*. Master thesis. Memorial University of Newfoundland. NL, Canada.
- Chang, E.E., S. Chao, P. Chiang, and J. Lee, 1996. Effects of chlorination on THM formation in raw water, *Toxicol. Environ. Chem.* 56: 211–225.
- Cho, M., J. Kim, J.Y. Kim, J. Yoon, dan J.H. Kim. 2010. Mechanisms of Escherichia coli inactivation by several disinfectants. *Water Res.* 44: 3410–3418.
- Chow, A.T. 2006. Disinfection byproduct reactivity of aquatic humic substances derived from soils. *Water Res.* 40(7): 1426-1430.
- Cristo, C.D., G. Esposito, dan A. Leopardi. 2013. Modelling trihalomethanes formation in water supply systems. *Environmental Technology* 34(1): 61-70.

- Culp, W. dan Wesner. 1986. *Handbook of Public Water Systems*. Van Nostrand Reinhold. New York.
- Darmasetiawan, M. 2001. *Teori dan Perencanaan Instalasi Pengolahan Air*. Yayan Suryono. Bandung.
- David, W. dan R. A. Djamaris. 2018. *Metode Statistik untuk Ilmu dan Teknologi Pangan*. Universitas Bakrie. Jakarta.
- Diego-McGlone, M., S. Smith, dan V. Nicolas. 2000. Stoichiometric Interpretations of C:N:P Ratios in Organic Waste Materials. *Marine Pollution Bulletin*. 40. 325-330.
- Edzwald, J. K., W. C. Becker, dan K. L. Wattier. 1985. Surrogate Parameters for Monitoring Organic Matter and THM Precursors. *Journal American Water Works Association* 77(4): 122-132.
- Effendi, H. 2003. *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*. Kanisius. Yogyakarta
- Elevli, S., N. Uzgoren, D. Bingol, B. Elevli. 2016. Drinking Water Quality Control: Control Charts for Turbidity and pH. *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development*, 1-8.
- EPA. 2011. *Water Treatment Manual: Disinfection*. EPA. Ireland.
- Fleischacker, S.J. and S.J. Randtke, 1983. Formation of organic chlorine in public water supplies. *J. Am. Water Works Assoc.* 50: 132
- Gallard, H. and U.V. Gunten. 2002. Chlorination of natural organic matter: kinetics of chlorination and of THM formation. *Water Res.* 36: 65-74.
- Gultom, T. B. 2016. *Kajian Sifat Fisik, Kimia dan Mikrobiologi Air Minum Isi Ulang di Kecamatan Tanjungkarang Pusat Kota Bandar Lampung*. Tesis. Universitas Lampung. Bandar Lampung
- Hammer M.J. 1986. *Water and Wastewater Technology*. Prentice-Hall Int. Inc. New Jersey (US).
- Harrington, G.W., Z.K. Chowdhury, and D.M. Owen. 1992. Developing a computer model to simulate DBP formation during water treatment. *J. Am. Water Works Assoc.* 84: 78-87.
- Hidayati, N. 2006. Pemanfaatan Karbon Aktif Kayu Sengon Putih sebagai Absorben Fe dan Mn dalam Air Sumur. *Skripsi*. FMIPA UNY. Yogyakarta.

- Islam, R., S. Md. Faysal, Md. R. Amin, F. M. Juliana, M. J. Islam, Md. J. Alam, M. N. Hossain, and M. Asaduzzaman. 2017. Assessment of pH and Total Dissolved Substances (TDS) in the Commercially Available Bottled Drinking Water. *IOSR Journal of Nursing and Health Science* 6(5): 35-40.
- Joko, T. 2010. *Unit Produksi Dalam Sistem Penyediaan Air Minum*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Kawamura, S. 1991. *Integrated Design of Water Treatment Facilities*. John Wiley & Sons, Inc.
- Kim, C., J. B. Eom, S. Jung, dan T. Ji. 2016. Detection of Organic Compounds in Water by an Optical Absorbance Method. *Sensors* 16(61): 1- 7.
- Krishnan, K. 2003. *Evaluation of the relative importance of dermal and inhalation routes for developing drinking water guidelines for trihalomethanes*. Health Canada, Ottawa, Ontario.
- Kumar, L. 2013. Study of double breakpoints during chlorination of river Yamuna water, Delhi, India. *International Journal of Water Resources and Environmental engineering*, 5(7): 370-379.
- Laîné, J-M., Vial, D., dan Moulart, P. 2000. Status after 10 years of operation — overview of UF technology today. *Journal Desalination* 131(1).
- Letterman, R.D. 1999. *Water Quality and Treatment: A Handbook of Community Water Supplies*. McGraw-Hill. New York.
- Li, H.Y., H. Osman, C.W. Kang, T. Ba. 2017. Numerical and experimental investigation of UV disinfection for water treatment. *Appl. Therm. Eng.* 111: 280–291.
- Lin, S.D. 2001. *Water and Wastewater Calculations Manual*. McGraw-Hill. New York, NY, USA
- Liuqin, S. 2011. *Application of ultrafiltration in purification of drinking water and advanced treatment of municipal wastewater*. Tsinghua University. Beijing.
- Malczewski, J. 1999. *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. New York: John Wiley & Sons.
- Marhaba, T.F. and D. Van. 2000, The variation of mass and disinfection by-product formation potential of dissolved organic matter fractions along a conventional surface water treatment plant. *J. Hazard. Mater.* 74(3): 133-147.

- Masduqi, A., dan A.F. Assomadi. 2016. *Operasi dan Proses Pengolahan Air, Edisi Kedua*. ITS Press. Surabaya.
- Masduqi, A., dan A. Slamet. 2002. *Satuan Proses*. Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas teknik Sipil dan Perencanaan. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Moersidik, S.S. 1999. Quality and Pollution of Water. *Jurnal Water Resources Management* VIII: 289.
- New Hasmpshire Department of Environmental Service. 2006. Trihalomethanes: Health Information Summary. *Environmental Fact Sheet*. ARD-EHP-13
- Nieuwenhuijsen, M.J., M.B. Toledano, N.E. Eaton, J. Fawell, dan P. Elliott. 2000. Chlorination disinfection byproducts in water and their association with adverse reproductive outcomes: A review. *Occup. Environ. Med.* 57: 73–85.
- Norwood, D.L., J.D. Johnson, R.F. Christman, J.R. Hass and M.J. Bobenrieth 1980. Reactions of chlorine with selected aromatic models of aquatic humic material. *Environ. Sci. Technol.*, 14, 187.
- Oliver, B.G. dan J. Lawrance. 1979. Haloforms in drinking water: a study of precursors and precursor removal. *J. Am. Water Works Assoc.*, 71, 161
- Özdemir, K., I. Toröz, dan V. Uyak. 2014. Relationship Among Chlorine Dose, Reaction Time and Bromide Ions on Trihalomethane Formation in Drinking Water Sources in Istanbul, Turkey. *Asian Journal of Chemistry*, 26(20): 6935-6939.
- Özdemir, K. dan Ö. Güngör. 2018. Development of statistical models for trihalomethane (THM) removal in drinking water sources using carbon nanotubes (CNTs). *Water SA* 44(4): 680-690.
- Peraturan Bupati Sidoarjo Provinsi Jawa Timur No. 86 Tahun 2019. *Rencana Induk Sistem Penyediaan Air Minum Kabupaten Sidoarjo Tahun 2018-2037*.
- Peraturan Daerah Provinsi Dati I Sidoarjo No. 4 Tahun 1976 *Penyerahan Pengurusan Saluran Air Minum Mojokerto Kepada Daerah Tingkat II Sidoarjo, Mojokerto dan Jombang*. 10 Juli 1976.
- Peraturan Daerah Kabupaten Dati II No. 5 Tahun 1978 *Pembentukan Perusahaan Air Minum (PDAM)*. 5 Juli 1978

- Peraturan Menteri Kesehatan No. 492 Tahun 2010 *Persyaratan Kualitas Air Minum*. 19 April 2010. Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2010. Jakarta.
- Priambodo, E. A. 2016. *Perancangan Unit Bangunan Pengolahan Air Minum Kampus Institut Teknologi Sepuluh Nopember*. Tugas Akhir. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Prihatini, R. 2012. *Kualitas Air Minum Isi Ulang Di Depot Air Minum Di Wilayah Kabupaten Bogor 2008 – 2011*. Skripsi. Program Ilmu Kesehatan Masyarakat Universitas Indonesia. Depok.
- Qasim. 2000. *Design Standard For Municipal Waste Water Treatment Plant*. Japan Sewage Works Association. Japan.
- Rajamohan, R., V. Ebenezer, P. Rajesh, V.P. Venugopalan. U. Natesan, V. Murugesan, dan S.V. Narasimhan. 2012. Trihalomethane formation potential of drinking water sources in a rural location. *Advances in Environmental Researc* 1(3): 1-9.
- Ramadhani, A. D. P., T.B. Prayogo, dan V. Dermawan. 2017. Perencanaan Pengembangan Instalasi Pengolahan Air Baku PDAM Giri Tirta di Bendung Gerak Sembayat Kec. Bungah Kab. Gresik. *Jurnal Teknik Pengairan Konsentrasi Perencanaan Teknik Bangunan Air*.
- Rathbun, R.E. 1996. Speciation of trihalomethane mixtures for the Mississippi, Missouri and Ohio rivers. *Sci. Total Environ.* 180: 125–135.
- Rebhun, M., L. Heller-Grossman, dan J. Manka. 1997, Formation of Disinfection Byproducts during Chlorination of Secondary Effluent and Renovated Water. *Water Environ. Res.*
- Reckhow, D.A. and P.C. 1985. Mechanisms of organic halide formation during fulvic acid chlorination and implications with respect to preozonation *Singer, Environ., Impact Health Effects*, 5, 1229–69: 1154–1162.
- Reynolds, R. 1982. *Unit Operations and Processes In Environmental Engineering*. Wadsworth, Inc. California.
- Richardson, S.D., M.J. Plewa, E.D. Wagner, R. Schoeny and D.M. DeMarini. 2007, Occurrence, genotoxicity, and

- carcinogenicity of regulated and emerging disinfection by-products in drinking water: A review and roadmap for research. *Mutat. Res.* 636(1-3): 178-242.
- Richardson, S.D. 2003. Disinfection by-products and other emerging contaminants in drinking water. *Trends Anal. Chem.* 22(10): 666-684.
- Rodriguez, M.J., J. Serodes, and M. Morin. 2000. Estimation of water utility compliance with trihalomethane regulations using modelling approach, *J. Water Supply Res. T.* 49: 57–
- Serodes, J.B., M.J. Rodriguez, H. Li, and C. Bouchard. 2003. Occurrence of THMs and HAAs in experimental chlorinated waters of the Quebec City area (Canada). *Chemosphere* 51: 253–263.73.
- Sohn, J., G. Amy, J. Cho, Y. Lee, and Y. Yoon, 2004. Disinfectant decay and disinfection by-products formation model development: Chlorination and ozonation by-products, *Water Res.* 38: 2461–2478.
- Sketchell, J., H.G. Peteraon, and N. Christofi. 1995. Disinfection by-product formation after biologically assisted GAC treatment of water supplies with different bromide and DOC content. *Water Res.* 29: 2635- 2642.
- Suripin. 2001. *Pelestarian Sumber Daya Tanah dan Air*. Penerbit Andi. Yogyakarta.
- USEPA. 1995. *Determination of chlorination disinfection by-products, chlorinated solvents halogenated pesticides/herbicides in drinking water by liquid-liquid extraction and gas chromatography with electron capture detection*. Environmental protection Agency Ed. USA.
- USEPA. 1999. *Alternative disinfectants and oxidants, Guidance Manual*. Environmental protection Agency Ed. USA.
- USEPA. EPA Drinking Water Guidance on Disinfection By-Products Advice Note No. 4. Version 2. Disinfection By-Products in Drinking Water. Environmental protection Agency Ed. USA.
- USEPA. 2016. *Quick Guide to Drinking Water Sample Collection*. Environmental protection Agency Ed. USA.
- Villanueva, C.M., Cantor, K.P., Grimalt, J.O., Castano-Vinyals, G., Malats, N., Silverman, D., Tardon, A., Garcia-Closas, R., Serra, C., Carrato, A., *et al.* 2006. Assessment of lifetime

- exposure to trihalomethanes through different routes. *Occup. Environ. Med.* 63: 273–277.
- Voukkali, I. dan A. A. Zorpas. 2015. Disinfection methods and by-products formation. *Desalination and Water Treatment* 56: 1150-1161.
- Wiyono, N., A. Faturrahman, dan I. Syauqiah. 2017. Sistem Pengolahan Air Minum Sederhana (Portable Water Treatment). *Konversi* 6(1): 27-35.
- Wirjohamidjojo, S. dan Y. Swarinoto. 2010. IKLIM KAWASAN INDONESIA (Dari Aspek Dinamik - Sinoptik). BMKG. Jakarta
- White G.C. 1992. *Handbook of Chlorination and Alternative Disinfectants*. 3rd ed. Van Nostrand Reinhold. New York, USA.
- Xu, X. dan C.P. Weisel. 2005. Dermal uptake of chloroform and halo ketones during bathing. *J. Expo. Anal. Environ. Epidemiol.* 15, 289–296.

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN A

Metode Pengambilan Sampel dan Prosedur Uji Sampel

I. Cara pengambilan sampel

Periksa dengan laboratorium pada volume sampel yang diperlukan untuk analisis. Biasanya duplikat sampel harus dikumpulkan di setiap lokasi pengambilan sampel. Kenakan sarung tangan dan pelindung mata saat menangani asam dan pengawet lainnya dan sambil mengumpulkan sampel. Jika menggunakan bahan pengawet, maka jangan membilas botol sebelum diisi. Periksa untuk memastikan ini adalah kasusnya dan jika tidak menambahkan pengawet. Isi botol dengan perlahan-lahan dengan membiarkan sampel mengalir perlahan ke bagian dalam botol. Buat meniskus air di mulut sehingga botolnya benar-benar terlalu penuh. Tutup botol sehingga tidak ada gelembung udara di dalam botol dan kelebihan air tumpah ke sisi-sisi botol. Periksa untuk memastikan botol tidak mengandung gelembung dengan membalik botol beberapa kali. Tempatkan sampel ke dalam pendingin dengan es untuk pengiriman atau pengiriman ke laboratorium (USEPA, 2016).

II. Pengawetan sampel

Uji COD

Mengawetkan dengan cara penambahan H_2SO_4 pekat sampai pH lebih kecil dari 2 dan disimpan dalam pendingin hingga $4^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$. Pengawetan ini dapat bertahan hingga 7 hari (SNI, 2009). Botol yang digunakan untuk uji COD dianjurkan botol kaca (APHA, 2017).

Uji UV₂₅₄

Sampel untuk uji ini dapat diawetkan dengan disimpan dalam pendingin hingga $4^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$. Pengawetan dapat bertahan selama 48 jam. Khusus uji UV₂₅₄ digunakan botol *amber glass* (APHA, 2017).

III. Prosedur Uji Sampel

Uji COD

1. Menyiapkan reagen pereaksinya:
 - a. Reagen *digestion*: 500 ml aquades ditambahkan ke dalam 1,022 g $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, dikeringkan pada suhu 103°C

selama 2 jam, kemudian ditambahkan 16,7 ml H₂SO₄ dan 3,33 g HgSO₄.

- b. Reagen asam sulfat: tambahkan Ag₂SO₄ ke dalam H₂SO₄ pekat dengan perbandingan 5,5 g Ag₂SO₄ / kg H₂SO₄.
 - c. Standard KHP: keringkan KHP bubuk pada suhu 120 °C dan larutkan 42,5 mg KHP ke dalam 100 ml aquades. KHP memiliki COD teori sebesar 1,176 mg O₂/mg dan larutan ini mempunyai COD teori sebesar 500 µg O₂/ml.
2. Mengukur dan menuangkan 2,5 mL sampel, 1,5 mL larutan *digestion*, 3,5 mL larutan pereaksi asam sulfat ke tabung atau ampul
 3. Menutup dan mengocok tabung perlahan hingga homogen.
 4. Letakkan tabung pada pemanas yang telah dipanaskan pada suhu 150 °C, lakukan *digestion* selama 2 jam. CATATAN Selalu gunakan pelindung wajah dan sarung tangan untuk melindungi dari panas dan kemungkinan menyebabkan ledakan tinggi pada suhu 150 °C.
 5. Mendinginkan sampel menjadi suhu ruangan. Jika perlu, saat pendinginan sesekali tutup contoh dibuka untuk mencegah adanya tekanan gas
 6. Membiarkan suspensi mengendap dan pastikan bagian yang akan diukur benar-benar jernih.
 7. Mengukur absorpsi larutan pada Panjang gelombang 420 nm.
 8. Menghitung kadar COD berdasarkan persamaan linier kurva kalibrasi. Rumus perhitungan COD adalah sebagai berikut:

$$\text{COD (mg O}_2\text{/L)} = \frac{\text{mg O}_2 \text{ di volume akhir} \times 1000}{\text{mL sampel}}$$

(APHA, 2017)

Uji UV₂₅₄

1. Menyaring sampel dengan kertas *glass fiber filter* tanpa pengikat organik.
2. Mengukur nilai absorbansi dengan spektrofotometer UV-Vis dengan pajang gelombang 254.

(APHA, 2017)

LAMPIRAN B**Rekapitulasi Hasil Pemantauan Kualitas Air Intake IPA Siwalanpanji Tahun 2019**

No	Parameter	Satuan	Baku mutu air**	Air Baku Intake IPA Siwalanpanji					
			Kelas II	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun
1	Temperatur	°C	dev 3*	29,8	29,2	27	29,5	32,3	29,3
2	pH		6-9	6,48	7	6,43	7,21	7,03	7,23
3	Dissolved Oxygen (DO)	mg/L	≥4	3	4,1	4,2	2,6	4	2,8
4	Biochemical Oxygen Demand (BOD)	mg/L	3	7,45	4,73	5,36	8,99	6,6	3,08
5	Chemical Oxygen Demand (COD)	mg/L	25	28,47	26,33	19,98	28,56	41,19	31,14
6	Total Suspended Solid (TSS)	mg/L	50	15	20	162	32,5	13	48
7	Nitrat (NO ₃ N)	mg/L	10	2,19	0,75	1,067	0,7598	0,8729	1,075
8	Nitrit (NO ₂ N)	mg/L	0,06	0,074	1,002	0,076	0,1428	0,1704	0,1011
9	Ammonia (NH ₃ N)	mg/L	-	0,156	1,244	0,345	0,9487	0,2185	0,1905
10	Phospat (PO ₃ P)	mg/L	0,2	0,011	0,014	0,041	0,0894	0,1739	0,1653
11	Detergen (MBAS)	mg/L	0,2	0,215	0,088	0,077	0,0981	0,1233	0,1465
12	Minyak & Lemak	mg/L	1	2,5	1	1	0,75	1	<0,62

Lanjutan Tabel:

No	Parameter	Satuan	Baku mutu air**	Air Baku Intake IPA Siwalanpanji						Rata-Rata
			Kelas II	Jul	Agu	Sep	Okt	Nov	Des	
1	Temperatur	°C	dev 3*	28,7	27,9	27,9		29,2	27,2	29,07
2	pH		6-9	7,34	6,5	6,5		7,39	7,25	6,86
3	DO	mg/L	≥4	2,1	1,6	1,6		1,4	2,8	2,89
4	BOD	mg/L	3	9	2,42	4,42		8,37	8,78	5,78
5	COD	mg/L	25	12,33	29,33	29,33		23,37	45,98	26,3
6	TSS	mg/L	50	9	12	12		3	6	35,94
7	NO ₃ N	mg/L	10	1,146	0,654	0,654		0,952	0,5549	1,02
8	NO ₂ N	mg/L	0,06	0,01	0,535	0,536		0,008	0,0056	0,29
9	NH ₃ N	mg/L	-	0,153	0,009	0,009		0,101	1,641	0,36
10	PO ₃ P	mg/L	0,2	0,186	0,109	0,109		0,045	0,1631	0,1
11	MBAS	mg/L	0,2	0,032	0,109	0,109		0,104	0,032	0,11
12	Minyak & Lemak	mg/L	1	1	0,75	0,75		<0,62	1,25	1,09

Sumber: Laboratorium Lingkungan PJT I

Keterangan:

* = Deviasi terhadap temperature rata-rata 5 tahun terakhir (29,1 °C)

** = Nilai batas maksimum sesuai Perda Prov. Jawa Timur No. 2 Tahun 2008, Kecuali untuk DO yang merupakan batas minimum

(-) = Untuk kelas termaksud parameter tersebut tidak dipersyaratkan.

LAMPIRAN C

Pengujian COD Sampel

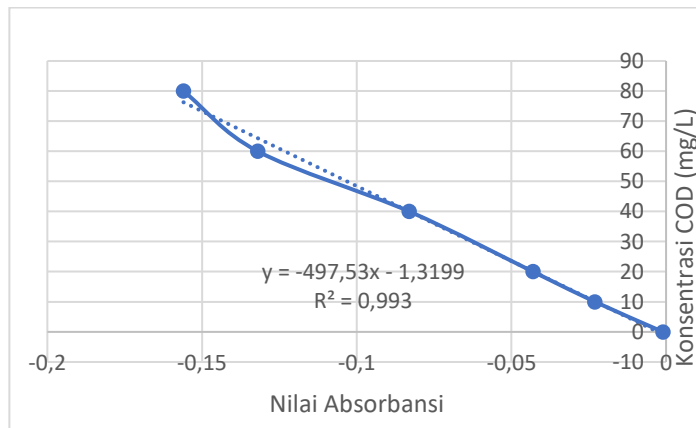
I. Absorbansi COD di Setiap Sampel

Titik Sampling	Absorbansi COD			
	Senin, 9 Maret 2020	Selasa, 10 Maret 2020	Rabu, 11 Maret 2020	Kamis, 12 Maret 2020
AB	-0,053	-0,053	-0,039	-0,052
SP	-0,035	-0,065	-0,038	-0,041
BP	-0,044	-0,045	-0,027	-0,044
UF	-0,042	-0,036	-0,022	-0,040
K	-0,032	-0,033	-0,034	-0,035

II. Nilai Absorbansi untuk Setiap Konsentrasi Larutan Standar

Konsentrasi Larutan Standar (mgCOD/L)	Absorbansi Larutan
0	-0,001
10	-0,023
20	-0,043
40	-0,083
60	-0,132

III. Hubungan Nilai Absorbansi dan Konsentrasi COD



IV. Contoh Perhitungan Konsentrasi COD

Absorbansi COD (x) = -0,053

Konsentrasi COD (y) = -497,53x - 1,3199

= -497,53(-0,053) - 1,3199

= 25,0439 mg/L

V. Hasil Perhitungan Konsentrasi COD Setiap Titik Sampel

Titik Sampling	Konsentrasi COD (mg/L)			
	Senin, 9 Maret 2020	Selasa, 10 Maret 2020	Rabu, 11 Maret 2020	Kamis, 12 Maret 2020
AB	25,0439	25,0439	18,0799	24,5465
SP	16,0901	31,0131	17,5824	19,0747
BP	20,5670	21,0645	12,1107	20,5670
UF	19,5722	16,5876	9,6236	18,5773
K	14,5979	15,0953	15,5927	16,0902

BIOGRAFI PENULIS



Penulis dilahirkan di Jakarta, 5 Oktober 1998, merupakan anak keenam dari enam bersaudara. Riwayat pendidikan penulis yakni KB dan TK Tunas Bangsa, Jakarta Timur (2001-2004), SD Santo Yoseph, Jakarta Timur (2004-2010), SMP St. John Paul II, Bekasi (2010-2013), SMA St. John Paul II, Bekasi (2013-2016), dan selama SMA juga mengikuti jalur ujian *International General Certificate of Secondary Education* (IGCSE) yang merupakan kurikulum dan sertifikat dari

Cambridge. Pada tahun 2016, penulis diterima di Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan (FTSPK) Institut Teknologi Sepuluh Nopember dengan Nomor Registrasi Mahasiswa 03211640000045 melalui jalur SBMPTN.

Selama menjadi mahasiswa, penulis mengikuti beberapa kegiatan pelatihan dan keorganisasian. Pelatihan yang dilakukan adalah 'Pelatihan Pengembangan Kepribadian' dan 'Latihan Keterampilan Manajemen Mahasiswa tingkat dasar (LKMM td)'. Penulis pernah menjadi ketua panitia maupun anggota panitia di beberapa kegiatan jurusan. Penulis juga aktif dalam salah satu Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM) di ITS yaitu bela diri Taekwondo sebagai pengurus UKM (2017-2019). Penulis dua kali mengikuti kejuaraan minat bakat sebagai salah satu representatif UKM dan memenangkan juara 2 (2018) dan juara 1 (2019) di Kejuaraan KONI Surabaya. Di himpunan jurusan (HMTL), penulis merupakan Kabid PDTL (2019). Selama perkuliahan, penulis pernah menjadi asisten laboratorium sebanyak 3 kali dalam mata kuliah Kimia Lingkungan I, Kimia Lingkungan II, dan Mikrobiologi. Kemudian,

penulis memiliki pengalaman kerja selama 2 bulan dengan mata kuliah kerja praktik yang dilaksanakan di Perusahaan Daerah Pengelolaan Air Limbah Jakarta Raya.

Sebagai penutup, penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun dari pembaca. Penulis dapat dihubungi melalui email bernadet.josopandojo@gmail.com.

Saran Perbaikan Ujian Lisan TA Genap 2019/2020

Lisan Air

Lab Teknologi Pengolahan Air

Input NRP anda (tanpa spasi,format: 32xxxxxxxxxx)

321164000045

Bernadet (321164000045)

Dosen Pembimbing: Alfian Purnomo, ST, MT

Saran:

Lihat lebih lanjut (<https://drive.google.com/open?id=12PRzjk8RL8A35WcCneah2Y9728CuNTC0>)

LULUS

Dosen Penguji 1: Ir. Eddy Setiadi Soedjono, MSC., PhD:

Saran:

1. Lebih dijelaskan bagaimana ke6 IPA yang ada itu dibangun: sedikit sejarah dan urutan pembangunan nya.
2. Mungkin in dapat dijelaskan mengapa dibangun sistem UF padahal yang lain sudah berupa IPA konvensional.
3. Adakah kemungkinan keterkaitan pembangunan ke2 jenis IPA terkait dengan keberadaan TH?
4. Konsisten penulisan: TTHM atau THM.
5. Sedikit dibahas terkait dengan baku mutu THM di NKRI.
6. Selain dibuat perbandingan rumus/model sebagaimana disampaikan dalam ppt slide 17 dan 18, jelaskan pula mengapa serial rumus/model mempunyai komponen yang tidak sama? Ketidaksamaan itu pula yang mungkin mendukung pilihan rumus mana yang terpilih!

LULUS

Dosen Penguji 2: Dr. Ali Masduqi, ST., MT:

Saran:

1. Pelajari materi TA agar mampu menjelaskan dengan baik.
2. DEPARTEMEN OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING ???
3. Abstrak dipersingkat, padat.

LULUS

Dosen Penguji 3: Susi Agustina Wilujeng, ST, MT

Saran:

1. Perbaiki semua salah ketik, tanda baca semua ya

LULUS



Halaman ini sengaja dikosongkan



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

FORM FTA-03

KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR

Nama : Bernadet
NRP : 03211640000045
Judul : Studi Kemampuan
Instalasi Pengolahan Air
untuk Meminimalisasi
Trihalometana (Studi
Kasus IPA Siwalanpanji
Kabupaten Sidoarjo)

No	Tanggal	Keterangan Kegiatan / Pembahasan	Check List
1	17/02/2020	Penentuan titik sampling	V
2	27/02/2020	Alat untuk uji sampling (<i>gas chromatography</i>)	V
3	03/03/2020	Penentuan rumus empiris dan uji yang dilakukan	V
4	06/03/2020	Persiapan sampling dan analisa parameter	V
5	13/03/2020	Perubahan titik sampling untuk variable jenis klor	V
6	30/03/2020	Penyesuaian topik tugas akhir	V
7	03/04/2020	Pemeriksaan Bab 1 dengan topik yang telah disesuaikan	V

8	13/04/2020	Pemeriksaan Bab 2, Bab 3, dan Bab 4 umum	V
9	28/04/2020	Diskusi mengenai pembahasan tujuan 2	V
10	13/05/2020	Diskusi mengenai pembahasan tujuan 1	V
11	18/05/2020	Revisi laporan	V
12	04/06/2020	Pemeriksaan PPT untuk Seminar Kemajuan	V
13	18/06/2020	Pembobotan rumus empiris	V
14	08/07/2020	Metode ranking dan pemilihan rumus	V
15	30/07/2020	Revisi sidang akhir	V

Surabaya, 4 Agustus 2020

Dosen Pembimbing


Alfian Purnomo, S.T., M.T.